

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA

Meccanica dei Materiali e Processi Tecnologici

Ciclo XX

Settore/i scientifico disciplinari di afferenza:

ING-IND/14

PROGETTAZIONE MECCANICA E COSTRUZIONE DI MACCHINE

TITOLO TESI

Ricerca ed Applicazione di Nuovi Metodi di  
Progettazione Meccanica e di Industrial Design

Presentata da: Leonardo Frizziero

Coordinatore Dottorato

Relatore

Prof. Ing. Tullio Trombetti

Prof. Ing. Alessandro Freddi

Esame finale anno 2009

# *Indice*

<b>Premessa</b>	pag. 5
<b>Introduzione – Storia e Regole del Design</b>	
a. Stile e Design (Estetica o Funzione)	pag. 8
b. L’industrial design nel mondo dell’automobile	pag. 9
<b>Capitolo 1 – Progettare per l’estetica</b>	
1.1 Il City Bumper: quadriciclo innovativo	pag. 31
1.2 Sintesi del metodo di progettazione per l’estetica, applicato al City Bumper	pag. 62
1.3 Realizzazione dei disegni: bozzetti e proiezioni ortogonali	pag. 65
1.4 Analisi ed ottimizzazioni della sicurezza	pag. 80
1.5 Analisi ed ottimizzazioni dei costi	pag. 101
1.6 Modellazione 3D del City Bumper	pag. 130
1.7 La prototipazione: il processo CAD-CAM e la maquette	pag. 144
1.8 Conclusioni	pag. 147
<b>Capitolo 2 – Progettare per la funzionalità</b>	
2.1 Coffee cup: progetto funzionale di una macchina per il caffè	pag. 150
2.2 Chiarificazione del compito: le 6 domande e le matrici	pag. 161
2.3 Il Progetto Costruttivo e fase applicativa (CAD e Rendering)	pag. 168
2.4 Conclusioni	pag. 171
<b>Capitolo 3 – Progettare: Impostare ed Applicare</b>	
3.1 Impostazione ed Applicazione	pag. 174
3.2 L’impostazione: l’importanza dei metodi per impostare un progetto	pag. 177
3.2.1 Il fabbisogno ed il processo di nascita di un progetto	pag. 177
3.2.2 Il QFD	pag. 181
3.2.3 Il TRIZ	pag. 186
3.3 L’Applicazione: le tecniche di applicazione	pag. 196
3.3.1 I sistemi di controllo dell’avanzamento: LPA	pag. 196
<b>Capitolo 4 - L’esperienza aziendale</b>	
4.0 Introduzione	pag. 198
4.1 L’organizzazione aziendale	pag. 198
4.1.1 Le Direzioni: i ruolo chiave della Direzione Tecnica e dei Team	pag. 198
4.2 Le fasi del Progetto	pag. 203

4.2.1 Analisi di Mercato e della Concorrenza	pag. 203
4.2.2 Target Setting	pag. 203
4.2.3 Pianificazione	pag. 204
4.2.4 Budget	pag. 205
4.2.5 Progettazione, Prototipazione e Sperimentazione	pag. 205
4.2.6 L'Avanzamento: gli indicatori	pag. 206
4.2.7 Le Delibere	pag. 212

## **Capitolo 5 – Confronto QFD vs TRIZ: progettare un unico prodotto con due metodi**

5.1 QFD vs TRIZ: breve descrizione della differenza tra i metodi	pag. 218
5.2 Identificazione del tipo di progetto per il confronto QFD vs TRIZ	pag. 222
5.3 Chiarificazione del compito – L'utilità del QFD	pag. 229
5.4 Progetto Concettuale – L'utilità del TRIZ	pag. 259
5.5 Progetto Costruttivo	pag. 286
5.6 Ottimizzazioni di Progetto	pag. 294
5.6.1 Design for Assembly	pag. 294
5.6.2 Design for Manufacturing	pag. 295
5.6.3 Progetto Robusto	pag. 298
5.6.4 Analisi dei Costi	pag. 299
5.7 Conclusioni del confronto tra i metodi e del progetto campione	pag. 303

## **Capitolo 6 – Sintesi di un Nuovo Metodo: Ricerca applicata a due Progetti di Complessità differente**

6.1 Obiettivi di Ricerca e Sperimentazione: applicazione del QFD a due progetti di differente complessità	pag. 308
6.2 Analisi dei requisiti tecnici del progetto semplice (caraffa)	pag. 311
6.3 Analisi dei tempi del progetto semplice	pag. 324
6.4 Analisi dei costi del progetto semplice	pag. 333
6.5 Analisi dei contenuti tecnici del progetto complesso (sedile di automobile)	pag. 341
6.6 Analisi dei tempi del progetto complesso	pag. 357
6.7 Analisi dei costi del progetto complesso	pag. 373
6.8 Funzionalità del progetto complesso (ergonomia)	pag. 412
6.9 Conclusioni	pag. 422

<b>Conclusioni</b>	<b>pag. 423</b>
--------------------	-----------------

<b>Bibliografia</b>	<b>pag. 425</b>
---------------------	-----------------





## *Premessa*

Il presente lavoro ha inteso affrontare studio, applicazione e ricerca nell'ambito della progettazione meccanica e dell'industrial design.

Scopo della tesi è quello di occuparsi inizialmente dello studio di metodologie e tecniche note, poi applicare le stesse a casi concreti, quali progetti concettuali e costruttivi, e, successivamente, tentare di elaborare una sintesi di un nuovo metodo di progettazione.

Si può ritenere che il lavoro abbia raggiunto gli obiettivi fissati all'inizio, in quanto è stato possibile venire a contatto, sia in ambito accademico che in ambito aziendale (presso Ferrari SpA) con molte tra le più attuali metodologie e tecniche di impostazione, applicazione e gestione di progetti di natura meccanica, quali QFD, TRIZ, Planning e Program Management, Budgeting, Analisi dei Tempi, Analisi dei Costi, Design for Assembly and for Manufacturing, CAD, CAS, CAM, Rendering.

In particolare, la prima parte della tesi tratta due modi differenti di affrontare la progettazione, ovvero il progettare per l'estetica ed il progettare per la funzionalità.

La progettazione per l'estetica è stata affrontata mediante la progettazione della carrozzeria di una city car (il City Bumper), quale rielaborazione della tesi di laurea.

La progettazione per la funzionalità, invece, è stata portata avanti attraverso la realizzazione di una macchina per il caffè (Coffee Cup). In questi lavori, sono stati applicati il metodo QFD e le tecniche CAD, CAS, CAM e Rendering studiate.

Entrambi i lavori sono stati pubblicati e presentati a convegni internazionali (YSESM 04 e 05).

Dopodiché, a seguito dell'esperienza aziendale in Ferrari SpA, della quale è riportata una breve descrizione nel cap. 4 della tesi, si è proceduto all'integrazione dei metodi appresi in azienda con quelli già studiati ed applicati precedentemente.

Il lavoro di ricerca è proseguito poi con un confronto tra i due metodi, QFD e TRIZ, applicati allo stesso progetto e, successivamente, ottimizzati con le metodologie aziendali, quindi, attraverso un'applicazione del QFD ottimizzato con le metodologie aziendali a due progetti di complessità differente.



# ***Introduzione:***

## ***Storia e regole del Design***

## *a) Stile e design (Estetica e Funzione)*

Nel famoso film di Hitchcock “North by North West”, c’è una scena di seduzione, a bordo di un treno, tra un fuggitivo, Cary Grant, ed una seria, sorniona Eva Marie Saint. Ella dice di avere ventisei anni e di non essere sposata. Cary Grant le chiede quale lavoro faccia. Eva Marie risponde: “Io sono un designer industriale”, mentre Hitchcock inquadra l’espressione perplessa di Cary Grant.

Questa è la prima citazione del mestiere di designer industriale in un film di Hollywood. Eva Marie Saint è una donna giovane, alla moda ed in carriera. Ovviamente ella non può che essere il prototipo giusto di designer industriale.

Sfortunatamente, però, non è così. Non solo è atipico il fatto che ella sia donna, quando i designer industriali sono per lo più uomini, ma Eva Marie sta pure mentendo. Nel film, infatti, ella è un agente segreto. Tuttavia Hitchcock ha potuto farla franca nel 1959, in quanto all’epoca quasi nessuno sapeva cosa fosse il design industriale <sup>[9], [10]</sup>.

Il bisogno di definire e di capire il design industriale è stato messo a fuoco soprattutto negli ultimi anni, in seguito all’adozione del CAD, strumento molto utile per i processi di progettazione e di fabbricazione dei prodotti di consumo attraverso l’uso del calcolatore. I primi tentativi comunque affondarono, a causa di una totale incomprensione dei bisogni e delle applicazioni del design industriale. Molto lavoro per ottenere dei risultati è stato fatto alla Coventry University, con un occhio di riguardo verso il ramo automobilistico.

L’approccio particolare alla progettazione dei beni di consumo, chiamata design industriale, ha una storia relativamente breve, essendo una disciplina creata principalmente nel ventesimo secolo. Essa ha le sue radici, in Europa, nella filosofia e nell’applicazione del Crafts movement, e negli Stati Uniti dalla necessità di trovare un modo per aumentare le vendite dei prodotti. Il design è detto “industriale” perché è strettamente connesso a prodotti realizzati attraverso processi industriali.

La preparazione dei designer industriali è stata soprattutto appannaggio delle scuole d’arte, particolarmente in Gran Bretagna. I molti cambiamenti necessari per raggiungere preparazioni più accurate sono stati effettuati però, sempre nel Regno Unito, all’interno di corsi di laurea in nuove Università, come quella di Coventry. Comunque, a causa sia della sua relativa giovinezza sia delle sue radici nelle scuole d’arte, la preparazione suddetta è mancata di qualsiasi tradizione di ricerca. Il principale obiettivo è così risultato essere quello di preparare i designer industriali alla pratica professionale.

Il design industriale è, naturalmente, solo un tipo di progettazione. Esso ha molto in comune con l’architettura e le varie metodologie di progettazione inerenti l’ingegneria. Infatti la relazione tra il design industriale e l’ingegneria meccanica è simile a quella tra l’architettura e l’ingegneria civile. Riguardo la sua tradizione artistica, il design industriale è considerato come una specializzazione in progetti tridimensionali, come mobili e soprammobili, ed è considerato cosa separata rispetto al disegno ed alla realizzazione di capi alla moda, di tessuti o, più in generale, di studi di grafica. A dispetto delle sue radici artistiche, esso ha una relazione strutturale piuttosto forte con la progettazione ingegneristica, poiché entrambi hanno a che fare con i prodotti fabbricati in azienda.

Sia in architettura che in ingegneria, molto lavoro è stato fatto sull’analisi e la programmazione delle strategie e dei processi di progettazione. Le strategie tendono a controllare l’attività, mentre i processi si occupano di come i progettisti affrontano i problemi. Le descrizioni del processo, che devono essere generali, sono state realizzate in modo tale da risultare una sequenza apparentemente lineare di analisi, sintesi e valorizzazione reciproca, ma con continui scambi interattivi tra ciascuna fase e tutte le altre fasi precedenti <sup>[9], [10]</sup>.

## *b) L'industrial design nel mondo dell'automobile*

“Io penso che le automobili siano quasi l'esatto equivalente delle cattedrali gotiche, cioè la suprema creazione di un'era, concepita con passione da artisti sconosciuti, e consumata nell'immagine se non nell'utilizzo da un'intera popolazione che se ne appropria come di un oggetto magico” (R.Barthes, 1995).

L'automobile ha rivoluzionato il modo di vivere dell'uomo ed è probabile che in futuro gli storici indicheranno il nostro secolo come il secolo dell'automobile.

Lo sviluppo del veicolo a motore è difatti il risultato di sogni visionari, di infinito lavoro e sperimentazione.

“La fase creativa del progetto di un'automobile, anche se trova il momento di sintesi nel segno di un individuo singolo, è frutto della sedimentazione di una cultura di gruppo, una cultura autoctona che ha operato parallelamente alla cultura ufficiale e, sino agli Sessanta, in piena estraneità rispetto a quella che si considerava allora la cultura europea del “good design” riletto con gli strumenti critici che ci erano stati forniti dal Movimento Moderno. In quanto portatrice di simboli metaforici, l'automobile è sempre stata un soggetto molto controverso per la critica del design, anche se fortunatamente il quesito sulla dignità culturale del suo progetto ha perduto di attualità: si è capito che la pretesa funzionalista di far divenire l'automobile un utensile come gli altri non avrebbe avuto sbocco, e si è portata l'attenzione sulla straordinaria ricchezza del suo vernacolo” (A. Anselmi, 1990).

Il prodotto automobile trova oggi infatti le condizioni favorevoli per inserirsi nella più generale problematica del “design” inteso nella sua più ampia accezione. Tutto questo è risolvibile con metodologie progettuali comuni ad altri prodotti: cioè seguendo specifiche prese ad hoc e priorità indicate caso per caso dalla politica del progetto stesso.

Questo “contenitore aerodinamico di spazio abitabile” è soggetto condizionato di una serie amplissima di problematiche: come per esempio l'ergonomia, che è importantissima in quanto la sua corretta applicazione determina un maggiore grado di benessere per gli utenti in termini di comfort, sicurezza attiva e igiene psico-fisica.

Si collegano direttamente all'ergonomia, o sono direttamente integrati, altri campi disciplinari specifici quali la comunicazione visiva (per la percezione delle informazioni provenienti dalla vettura e dall'esterno), la comunicazione acustica, la comunicazione tattile (per l'individuazione ad esempio degli elementi di comando senza ausilio visuale), l'antropologia (per l'individuazione dei dati antropometrici degli utenti ai quali l'automobile si rivolge) e la microclimatologia (per quanto connesso al trattamento dell'aria interna in rapporto alle esigenze degli occupanti).

Le tecnologie, in questo senso, sono tra le più varie e avanzate, essendo le unità prodotte in quantità tali da consentire investimenti notevoli in impianti e attrezzature specifiche.

Vi è un rapporto talvolta molto stretto infatti tra tecnologia ed ergonomia di fabbrica e nel design si deve considerare prioritaria la soluzione dei problemi ad esso connesso. Molte operazioni di assemblaggio, nonostante l'imponente operazione di robotizzazione sono ancora parzialmente affidate all'uomo, occorre quindi che il progetto sia configurato in modo da evitare all'operatore posture e movimenti scorretti o dannosi. Il marketing svolge poi un ruolo determinante nel buon esito commerciale dell'automobile perché ad esso non sono attribuite soltanto funzioni di vendita, ma anche l'impostazione delle specifiche del prodotto stesso e la configurazione delle gamme del prodotto.

Il margine di errore è minimo ed anche il designer si sente, nel proprio operare, investito da una parte non secondaria di responsabilità.

Il fattore economico, nel complesso di attività che gravitano nella progettazione dell'automobile, come si può notare, è l'elemento costante di riferimento: si deve considerare che ogni forma ed ogni suo componente hanno costi di materiale e di attrezzature che devono trovare logica motivazione nel quadro complessivo del conto economico dell'azienda.

Il designer, in questo intrinsecarsi di problematiche, ha nonostante tutto, ancora la possibilità di esprimere valori di artisticità ed innovazione non ancora totalmente razionalizzabili a priori. “La storia dell’automobile è storia economica ed insieme storia di scontri e trasformazioni sociali, di connessioni, dipendenze e scambi con la storia delle arti, del costume e del comportamento, oltre che la storia della tecnologia e della scienza” (V. Gregotti, 1981).



**Figura 1. Ford T**

Non a caso è in America che l’automobile, come fenomeno sociale, si sviluppa velocemente sin dai primi anni del secolo, la Ford T, soprannominata Tin Lizzie, diede infatti agli americani la possibilità di espandere i propri orizzonti, vincendo lo scoglio rappresentato dalle grandi distanze fra i centri abitati e la mancanza di un servizio di trasporto pubblico adeguato.

Progettare un’automobile avendo come obiettivo la risoluzione di un problema sociale porta necessariamente a considerare più gli elementi di natura tecnico-produttiva che formale.

La Ford T ne è un chiaro esempio; rimase pressoché identica nella sua linea e colorazione nera per ben diciotto anni, non dovendo soddisfare il senso estetico ma il bisogno di una generazione.

Lo styling americano nasce infatti più tardi, quando, in un mercato ormai sturo, le Case Costruttrici vengono a confrontarsi in un clima di assoluta concorrenza sui temi del preziosismo formale e del continuo rinnovamento estetico. Secondo De Fusco, lo styling non cercava di condizionare psicologicamente il gusto del pubblico con l’aiuto della pubblicità, ma interpretava anche umori ed aspirazioni, tenendone conto nella progettazione sulla base di simboli e convenzioni visive, fin dove i consumatori potessero in qualche modo riconoscersi: lo styling diventa così uno strumento di risistemizzazione del prodotto realizzato con partenza non solo dall’alto, cioè dal designer, ma anche dal basso, dagli umori del consumatore accertati con mezzi di indagine sempre più sofisticati.

Una interpretazione di questi simboli, umori ed esigenze del pubblico è illustrata da Banham, nel suo articolo “Industrial design ed arte popolare”, in cui sostiene che le caratteristiche degli oggetti costituenti il grosso della produzione attuale non sono quelle dell’arte pura e nemmeno quelle dell’arte popolare, intesa come folkloristica, ma piuttosto una nuova forma d’arte popolare, propria della civiltà industriale: “L’arte popolare dell’automobilismo, in una società meccanizzata, è una manifestazione culturale come lo

sono il cinema, la televisione, la musica da ballo, lo sport; la Buick con il suo scintillante virtuosismo, la sua raffinata eleganza e la sua mancanza di riserbo, risponde mirabilmente alla definizione di Pop Art”.

“L’auto è diventata un articolo d’abbigliamento senza il quale nel composto urbano ci sentiamo incerti, nudi ed incompleti” (M. McLuhan, 1967). Diversa invece la situazione in Europa dove l’automobile assume carattere voluttuario ed elitario: si progetta e si costruisce soprattutto per un pubblico facoltoso.

E’ interessante sottolineare a questo proposito l’esistenza di una netta diversità nel rapporto automobile-società che, per quanto in via di appianamento, rende comunque molto diversa la realtà americana da quella europea.

Se è vero che negli anni Cinquanta e Sessanta lo stile europeo ha adottato lo “streamline” prima e la linea squadrata poi, derivandoli da tendenze già in voga in America, è anche vero che, con il 1973, anno della crisi petrolifera, gli americani hanno copiato il prodotto europeo e giapponese nel tentativo di produrre automobili di dimensioni più contenute e a misura d’uomo.

“Prodotto inizialmente elitario per costi e difficoltà di produzione, l’auto è oggi, tra l’altro, un qualcosa da cui nessuno può razionalmente prescindere” (N. Morosini, 1988).

Del resto nessun altro prodotto rappresenta il nostro tempo come l’automobile: è sufficiente guardare un film per rendersi conto di come sia l’automobile a suggerire il periodo in cui si svolgono le sequenze; infatti, più che dall’architettura, duratura nel tempo, o dall’abbigliamento, soggetto a mode effimere, dalle auto si riconosce per lo meno il decennio in cui è ambientata la pellicola. E’ talmente legata al suo tempo, in quanto espressione di design, funzionalità, prestazioni e tecnologia, che non a caso nei film di fantascienza è molto più facile inventare un’astronave che non un’automobile; emblematica a questo proposito è la Batmobile di Batman.

“Automobile, quindi come: assunzione di un feticcio del nostro tempo, che ha concentrato l’interesse di artisti e di designer (da simbolo del progresso per i futuristi al ruolo avuto nell’America degli anni Trenta, dalla sua linea della velocità assunta ad attributo di modernità estesa a tutto un mondo di oggetti fermi), come mezzo plurisignificante, proprietà aspirata, in cui al limite ci si identifica, come oggetto addirittura di odio-amore, come centro della civilizzazione tecnica attuale” (E. Fratelli, 1978).



**Figura 2. Andy Warhol, Twelve Cadillacs, 1962**

L'automobile, da che è nata, è sempre stata guardata con grande interesse da parte della maggior parte degli artisti: Martinetti, nel primo manifesto futurista pubblicato su *Le Figaro* nel 1909, esalta il dinamismo e l'attivismo della macchina, il culto dell'audacia, la sete di velocità e potenza.

Più tardi nel manifesto intitolato "Immaginazione senza fili", del 1913, Martinetti afferma che: "(...) il Futurismo si fonda sul completo rinnovamento della sensibilità umana, avvenuto per effetto delle grandi scoperte scientifiche. Coloro che fanno uso del telegrafo, dell'automobile, dell'aeroplano (...), non pensano che queste diverse forme di comunicazione e trasporto esercitano sulla loro psiche una decisiva influenza." Martinetti parla quindi di "completo rinnovamento della sensibilità" che le nuove scoperte hanno reso possibile. "Esiste a tal proposito un'interessante albero genealogico di questo atteggiamento, che parte da Henri de Toulouse-Lautrec (una incisione raffigurante una strada di campagna francese vista attraverso il parabrezza di una delle prime macchine), passa doverosamente lungo tutto il Futurismo (Giacomo Balla disegnò anche delle reclames per un garage!), s'inchina davanti Francis Picabia (divoratore di potenti Hispano Suiza), giunge a Robert e Sonia Delaunay, Walter Gropius, Le Corbusier e poi, via via, in un crescendo rossiniano, approda alla Pop Art: Claes Oldenburg, Salvatore Scarpitta, Roy Lichtenstein, Andy Warhol, James Rosenquist.

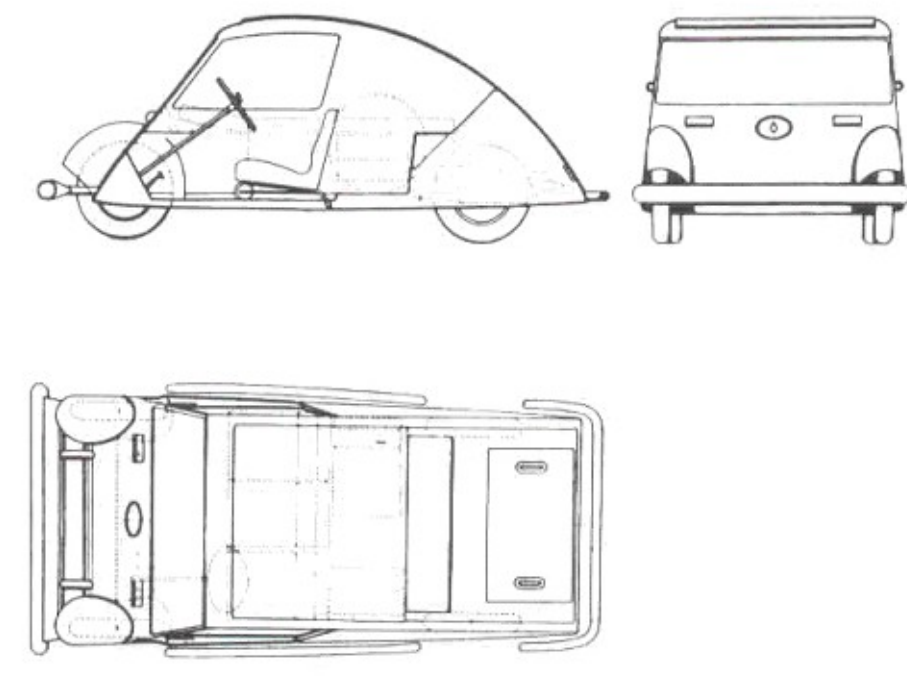


Ma se riesce difficile immaginare un affetto di Moranti o Rosai o De Chirico, più facile è capire come l'arte non figurativa sia in parte frutto di una società tecnologica" (P. Dorazio, 1986)<sup>[11]</sup>.

## *Il disegno dell'automobile attraverso le sue tappe principali*

Un esempio che al tempo stesso è segno dell'attività interdisciplinare di Le Corbusier è il progetto di automobile, mai realizzato, concepito nel 1928, che diede modo di trasformare in un ambito ancora empirico metodi e sistemi funzionali già patrimonio acquisito dall'architettura.

Il risultato è un modello di vettura che preconizza soluzioni e contenuti che sarebbero diventati attuali decenni più tardi, un segno di modernità questo, che ha attratto Giugiaro, il quale avvalendosi del disegno in scala 1:10 e della relazione allegata al progetto, ha costruito un modello in legno in scala naturale.



**Figura 3. Le Corbusier, l'automobile Maximum**

Questo lavoro è stato esposto alla mostra "Le Corbusier, la progettazione come mutamento", che si è tenuta a Milano nel 1987.

L'idea di impostare un'automobile privilegiando l'aspetto abitativo-funzionale in un'epoca in cui auto significava status-symbol, riservato solo ad un pubblico facoltoso, è stato sicuramente una grande innovazione nella concezione delle autovetture, lasciando in questo caso la forma in secondo piano.

L'impostazione tecnica prevede infatti il motore sistemato posteriormente, secondo una soluzione che sarà ripresa da utilitarie di grandissima diffusione come la Volkswagen Maggiolino o la Fiat 500, progettata vent'anni dopo da Giocosa. L'aumento di larghezza ha poi consentito di disporre tre sedili anziché due e di avere un ampio vano bagagli posteriore dove è alloggiato un quarto sedile pieghevole; l'aspetto abitativo è sottolineato dalla possibilità di ribaltare i due sedili a fianco del guidatore e ottenere una sorta di brandina.



**Figura 4. Fiat 500**

Diversa l'impostazione architettonica della Citroen 2CV: questa vettura, anche chiamata "quattro ruote con ombrello sopra", fu pensata nel '35 da Pierre Boulanger e disegnata da Flaminio Bretoni nel '39.

La richiesta, da parte della direzione Citroen, di uno studio per una vettura rustica fu: "Studiate una vettura che possa trasportare due contadini in zoccoli e 50 kg di patate o un barilotto di vino a una velocità massima di 60 km/h e con un consumo di tre litri per 100 km".

La 2CV infatti doveva diventare per i francesi quel che la Ford T era stata per gli americani: un mezzo di trasporto di massa, destinato soprattutto a rompere l'isolamento dalle campagne. Il tetto in tela è apribile dalla sommità del parabrezza fino alla targa: il che conferisce alla vettura il tipico aspetto di scatola di sardine. L'interno si presenta spartano: sedili ad amaca e cruscotto semplicissimo dal quale spiccano solo la leva del cambio e quella del comando manuale del tergicristalli.



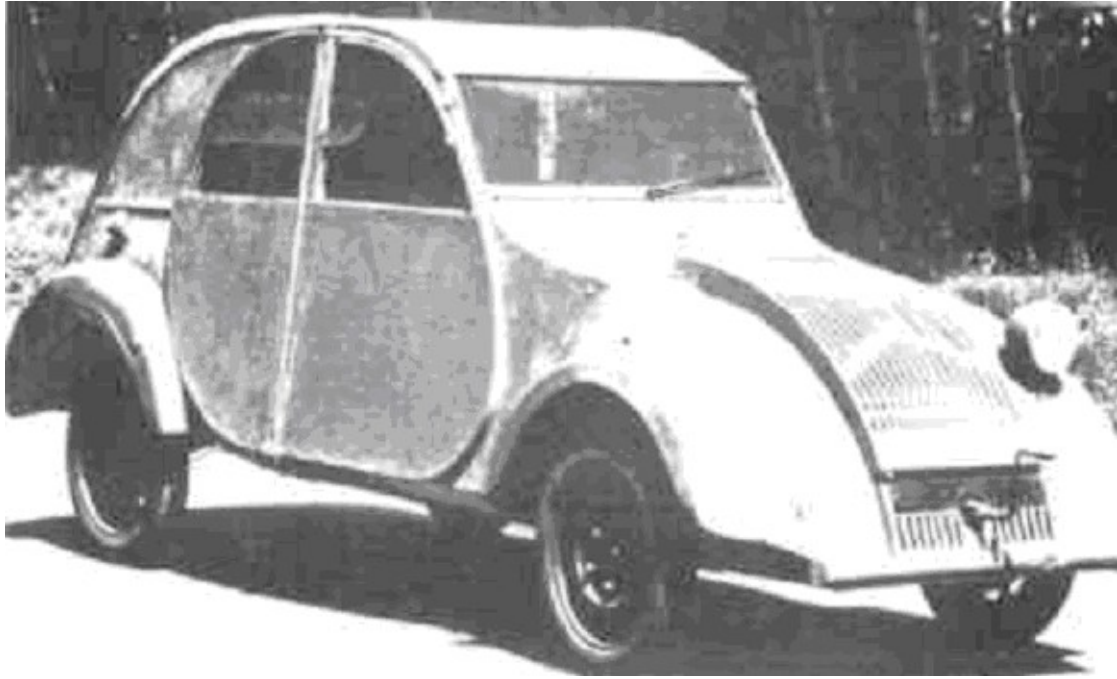
**Figura 5. Volkswagen Maggiolino**

Nel 1947 nasce un'automobile destinata ad aprire un'era nel "car design": Pininfarina presenta la berlinetta Cisitalia 202.

Arthur Drexler, nell'organizzare la mostra "Eight automobiles" al Museum of Modern Art di New York nel 1951, presenta questa vettura esponendola permanentemente con questa didascalia: "Rolling sculptures".

Si è già accennato alle tendenze aerodinamiche che avevano caratterizzato alcune proposte stilistiche degli anni Trenta; molte di queste, lungi dal seguire le teorie della linea a goccia di Edmund Rumpler, Carl Beer, Paul Jaray, Hans Ledwinka e Richard Busckminster Fuller, tendevano a rimanere puri esercizi di stile di una moda derivata dalle corse.

Pur non presentando una struttura portante, la Cisitalia 202 aveva un telaio a traliccio di tubi in acciaio appositamente realizzato per quella carrozzeria, e concepito per ottenere un abbassamento generale della vettura.



**Figura 6. Citroen 2CV (modello 1938)**



**Figura 7. Pininfarina Cisitalia**



In effetti, la prima cosa che sorprende, se confrontata con le sue contemporanee, è la completa revisione delle proporzioni. Bassa e larga, aveva un calandra orizzontale che rendeva penetrante e dinamica una linea che non era pensata per le corse. Per la prima volta il cofano motore scende sotto la linea dei parafranghi, rivoluzionando l'importanza formale che il vano motore aveva nelle auto del tempo.

E' sicuramente questo il motivo principale di interesse: alcuni attribuiscono maggior risalto invece alla soluzione della fiancata continua, in cui i parafranghi sono solamente accennati, ma è proprio il parafrango che sottolinea quell'idea di velocità che è implicita nello slancio delle linee e nel raccordo molto dolce dei volumi.

La fiancata continua non è comunque una novità; ben oltre erano andate certe realizzazioni della Carrozzeria Touring e segnatamente la berlinetta del 1939 su meccanica Alfa Romeo, in cui però, alla fiancata integrale si unisce la verticalità complessiva dell'insieme, determinata dal cofano motore, che è nettamente sopraelevato rispetto alla linea del parafranghi.

Se la Cisitalia 202 rappresenta un punto importante per lo sviluppo dell'automobile, non solo per la linea, ma anche per l'integrazione, a livello di progetto, fra carrozzeria e struttura, ben altre rivoluzioni dovevano avvenire quando si rese possibile l'adozione della monoscocca in tutti i processi produttivi.

Questa soluzione si era già vista nel 1923, Vincenzo Lancia aveva infatti presentato la Lancia Lambda, un'automobile a struttura portante, anche se limitata alla linea di cintura.

Fu però solo dopo la Seconda Guerra mondiale che le grandi Case Costruttrici di automobili compresero i vantaggi che l'utilizzo in grande serie della carrozzeria portante poteva garantire alla produzione di autovetture, vantaggi quali: riduzione del peso, aumento della rigidità torsionale, maggiore velocità di produzione e una sensibile riduzione dei costi.

Per contro, la pianificazione produttiva automobilistica era destinata a cambiare: progettare una scocca voleva dire infatti definire in partenza le caratteristiche stilistiche dell'automobile, che non potevano essere modificate se non a costo di grandi reinvestimenti. L'utilizzo della monoscocca permise ai designer di perfezionare la metodologia progettuale che così assunse carattere integrale. In questa maniera l'abitacolo viene ad essere un tutt'uno con la carrozzeria, questa a sua volta rimane perfettamente integrata con gli organi meccanici.



**Figura 8. Lancia Lambda, 1928**

Le tecniche di stampaggio permettono poi l'esecuzione di linee molto raccordate, tondeggianti, avvolgenti, anche se ancora massicce: tipiche sono le automobili degli anni Cinquanta, ben rappresentate dall'Alfa Romeo 1900 <sup>[11]</sup>.



**Figura 9. Alfa Romeo 1900**

## *L'automobile ed i suoi materiali*

“I nuovi materiali creano la possibilità di forme e anzi pongono l'istanza di nuove forme” (N.Pevsner, 1920). L'evoluzione delle tecnologie applicate al settore dell'automobile ha determinato notevoli cambiamenti in tutti i campi della progettazione, si sono fatti passi avanti tanto nelle metodologie quanto nei materiali usati. Le prime hanno visto l'ingresso dei robot, all'inizio nei settori di stampaggio, saldatura e verniciatura poi in quello di assemblaggio, rivoluzionando indirettamente la progettazione della struttura e dei componenti, che di fatto devono essere facilmente riconoscibili, trasportabili e montabili dai macchinari automatici.

Tutto questo ha richiesto metodologie avanzate di progettazione e maggiore precisione nelle tolleranze fra i componenti separati, costringendo a rivedere le modalità di giunzione di questi alla scocca.

Ed è proprio sotto il profilo dei materiali, che si segnalano nuove possibilità formali concesse dallo stampaggio di parti intere della carrozzeria con materiali plastici. Un caso su tutti è il portellone della Fiat Tipo che non sarebbe potuto essere realizzato in quella forma mediante la convenzionale lamiera stampata.

E' chiaro che una conoscenza approfondita delle possibilità offerte dai nuovi materiali, come dei limiti imposti dall'utilizzo dei compositi ultraleggeri in fibra di carbonio, consenta al progettista di escogitare forme del tutto nuove, è impensabile la progettazione di un particolare di carrozzeria o interno senza uno studio approfondito delle metodologie produttive e dei materiali più adatti.

Facendo un passo indietro, si può constatare come la crisi petrolifera degli anni Settanta, con il conseguente aumento del prezzo del petrolio, abbia profondamente inciso sullo sviluppo dell'automobile, sia nella concezione che nei materiali.

In questo caso l'obiettivo principale per fronteggiare la crisi si è tradotto in una ricerca spasmodica nella riduzione dei consumi che ha indotto i progettisti a impegnarsi, in prima istanza, ad abbassare il coefficiente di penetrazione (CX) e poi, a contenere il peso della vettura.

Tutto questo ha portato evidentemente ad un'aumento dell'inclinazione del parabrezza che a sua volta ha causato un incremento della superficie esposta alle radiazioni solari, innalzando così la temperatura nell'abitacolo.

Come si può vedere, partendo da problematiche molto diverse, si è arrivati alla necessità di mettere a punto materiali con resistenze al calore decisamente superiori a quelli usati correntemente.

Il costo di un componente è poi a sua volta regolato da una somma di fattori, che nel vasto panorama delle scelte tra materiali e processi, porta il progettista a sperimentare nuove strade e tecniche produttive.

Un altro input viene invece imposto dalle restrittive norme di sicurezza, che determinano modifiche talvolta sostanziali e che trovano una risposta solo nell'utilizzo di nuovi materiali e nuove concezioni costruttive.

Il consumo di materiali plastici nell'auto è infatti stato caratterizzato fino ad oggi da un sempre più massiccio impiego determinato soprattutto dalle caratteristiche stesse delle materie plastiche e cioè: peso ridotto che si traduce in risparmio di carburante e resistenza alla corrosione, con un conseguente minor costo di produzione e manutenzione: stabilità dimensionale alla temperatura; capacità fono e termoassorbenti; ampia libertà creativa delle forme ed infine economicità del processo produttivo che equivale ad un minor costo dei componenti.

Da quando la produzione si è aperta pienamente all'ingresso massiccio delle materie plastiche e delle relative tecniche di lavorazione a stampo, sono stati necessari grandi investimenti economici in transfert tecnologici.

La qualità di finitura di un pezzo ha assunto un peso sempre maggiore ed è divenuta più urgente la capacità di gestione di quel sottile confine tra l'oggetto ed il mondo esterno che è la sua parte comprensibile.

Vuol dire entrare nel progetto della fase iniziale della messa a punto definitiva di una nuova vettura, prima ancora che vengano avviate le attrezzature di produzione delle vetture di preserie, tempo nel quale normalmente si interveniva per dare giudizi sulla qualità superficiale dei pezzi stampati.

L'obiettivo finale è, pertanto, quello di riuscire a determinare lo standard qualitativo relativo a ciascun particolare plastico della vettura, contemporaneamente alla definizione dei dati di progetto, per coordinare con i progettisti il complesso sviluppo di ogni nuova vettura.

Oltre ai classici problemi di stiro e corrugamento del materiale in fase di stampaggio si pensa addirittura di risolvere problemi connessi con l'odore, la sonorità ed il tatto.

Dalle analisi dualistiche, finalizzate alla definizione e valutazione dei "rendimenti" ottenibili trasformando particolari materiali con appropriate tecnologie, si ricavano informazioni utili per una rilettura del "contesto abitacolo" e dell'arredamento in genere; informazioni corredate da dati oggettivi dai quali possono derivare valide informazioni per il progettista che può verificare la congruenza tra i risultati e le performance specifiche.

Inoltre le materie plastiche contribuiscono egregiamente al raggiungimento del cosiddetto "just-in-time" che dà luogo ad una produzione che non richiede giacenze eccessive in magazzino dei componenti da assemblare e che consente giacenze addirittura vicino allo zero.

**Plancia:** per la sua collocazione e dimensione, la plancia è considerata il componente più qualificante nell'immagine di un'abitazione, condiziona infatti la finitura del volante, dei pannelli porta, della consolle centrale e delle modanature.

Il termine cruscotto, con cui la plancia viene sovente chiamata, evoca il "crush-shock", cioè il riparo anteriore di cuoio che proteggeva il cocchiere: la plancia infatti oltre ad essere concepita come assorbitore d'urto per i passeggeri, alloggia la strumentazione e parte dell'impianto elettrico, distribuisce gran parte dell'aria necessaria per la climatizzazione nell'abitacolo e funge da contenitore di oggetti.

Le metodologie di fabbricazione (stampaggio ad iniezione, rivestimento e schiumatura) vengono scelte in base a fattori economici, cioè alla classe o segmento della vettura a cui la plancia è destinata.

**Stampaggio ad iniezione:** la plancia è ottenuta stampando ad iniezione un materiale termoplastico, generalmente polipropilene, l'effetto estetico viene poi reso dalla graffatura (es. Plancia Fiat Tipo)

**Rivestimento:** questo processo consiste nell'arricchire il polipropilene, rivestendo la plancia mediante la tecnica di sottovuoto, con un materiale vinilico semiespanso goffrato dello spessore di circa 1,5 mm, che la rende semimorbida (es. Alfa 33).

**Schiumatura:** per rendere veramente morbida la plancia si interpone, fra il supporto rigido ed il rivestimento, una schiuma poliuretanica dello spessore di alcuni millimetri (es. Lancia Thema).

E' importante a questo punto ricordare, i test più significativi a cui sono sottoposte le plance: prove d'urto, prove termiche e prove di resistenza all'umidità.

E' comunque l'aspetto della sicurezza passiva che ha determinato un grosso passo in avanti nella progettazione degli abitacoli: la frequenza d'urti da parte dei passeggeri contro il cruscotto è molto elevata, eppure sono in vendita ancora utilitarie il cui cruscotto è privo di imbottiture, benché le loro ridotte dimensioni ne rendano ancora più importante l'adozione.

Può destare qualche dubbio inoltre l'adozione di plance a sviluppo piuttosto alto, con cui il corpo del passeggero facilmente può entrare in contatto.

"Si dovrebbe porre, poi, una certa attenzione anche all'installazione sui cruscotti di elementi dell' "after market" suscettibili di alterare il disegno originale (autoradio, apparecchiature CB, telefono, interruttori sporgenti, deodoranti, ecc.) con possibili effetti lesivi in caso d'urto" (F. Zuppichini, 1986).

**Volante:** le funzioni principali del volante consistono nella trasmissione di un comando fondamentale, cioè lo sterzo. Il volante deve poi sopportare i carichi che il guidatore può dare, assorbire eventuali urti, dare sensazioni tattili soddisfacenti e non superare certi pesi e momenti d'inerzia.

Come per la plancia, diversi sono i modi per ottenere un volante, in particolare si utilizzano: volanti stampati ad iniezione e volanti schiumati.

Anche in questo caso, la scelta fra le due tecnologie è data dal fatto che i volanti stampati ad iniezione hanno un costo che è oltre la metà rispetto a quelli schiumati: i primi infatti sono rigidi al tatto mentre i secondi sono morbidi.

**Stampaggio ad iniezione:** a differenza di quanto accade per le plance stampate, è necessario utilizzare, come supporto, un'armatura metallica specificatamente progettata; questa, dopo essere stata posta in uno stampo goffrato, gli viene stampato attorno il materiale termoplastico.

**Schiumatura:** si ricorre alla schiumatura quando si vuole ottenere un effetto tattile veramente morbido; in questo caso diventa fondamentale l'armatura metallica, perché come prima viene a mancare il supporto meccanico della materia plastica.

Esaminando un volante, ci si rende conto infatti che non è possibile rivestirlo tramite formatura sotto vuoto, ma solamente attraverso sellatura manuale, processo questo costosissimo e utilizzato solo su vetture di classe elevata.

Per ovviare a questo, si utilizzano particolari schiume "autopellicolari" tecnicamente dette integrali che hanno lo scopo di formare a contatto dello stampo.

**Sedile:** il sedile è composto da una copertura superficiale (tessuto, PVC o pelle) e da un supporto elastico. La copertura, oltre evidentemente alla funzione protezione del sedile stesso, migliora e determina un buon comfort: il ruolo del supporto elastico invece è di sostenere il corpo così da distribuire il peso su di una superficie tale da non avere pressioni di seduta superiori ai 0.3 kg/cm, per non subire il blocco della circolazione sanguigna e assicurare lo smorzamento delle vibrazioni, in particolare il campo di frequenza da 0.5 a 4 Hz, cioè le frequenze di risonanza dello stomaco.

Il sedile, o supporto elastico che si voglia dire, viene realizzato mediante l'uso di fibra di cocco, lattice di gomma e poliuretano espanso.



I primi due sistemi sono attualmente utilizzati solo per autovetture prodotte in piccola serie, perché richiedono molta mano d'opera, il poliuretano espanso invece, sviluppatosi negli anni Settanta, è ormai il più utilizzato, perché permette una buona razionalizzazione del processo produttivo.

Oggi, il sedile sta avendo un ruolo sempre più importante in un'autovettura ed inoltre esige caratteristiche particolari a seconda dell'uso e del tipo di vettura; c'è poi la tendenza a differenziare il sedile stesso anche per quel che concerne la percentuale di utilizzo: il posto guida viene impiegato al 100%, quello del passeggero anteriore al 50%, mentre i sedili posteriori solo al 12%.

Si deduce da questo che il sedile, da semplice sostegno, deve assicurare anche: una buona distribuzione delle pressioni di seduta anche con forme particolari, un sostegno ergonomico in condizioni dinamiche, un assorbimento delle vibrazioni con bassi spessori e comfort differenziato, a seconda che sia il guidatore od il passeggero a utilizzare il sedile.

Il raggiungimento di questi obiettivi è legato alla possibilità di ottenere caratteristiche meccaniche diverse all'interno del sedile schiumato: è perciò necessario aumentare la portanza dei lati, rendere soffici le parti centrali dove grava maggiormente il peso del corpo, essere invece estremamente flessibile la parte anteriore del posto guida, in modo da rendere fluido il movimento delle gambe per azionare i pedali, e così via, il tutto rispettando vincoli stilistici e limiti di peso.

**Soffitto:** i primi soffitti in materia plastica furono quelli stampati: un sandwich di schiuma espansa di polystyrene e carta kraft veniva stampato e trinciato per formatura; questo poi poteva essere ulteriormente piegato per adattarsi ai contorni.

Migliori prestazioni si possono avere invece oggi con i soffitti in styrene laminato: questo materiale, il cui nucleo è costituito da styrene schiumato, ha una maggiore resistenza alle alte temperature, permettendo la termoformatura del soffitto.

I soffitti in fibra di vetro stampato hanno infatti ottime caratteristiche acustiche, possono essere stampati con spessori diversi, permettendo l'aumento dello spessore nella parte posteriore in modo da evitare vibrazioni e rumori.

Le caratteristiche acustiche di questi soffitti sono altrettanto buone rispetto a quelli ottenuti per stampaggio di fibre di vetro, che vengono considerati il sistema migliore.

**Elementi trasparenti:** per ragioni di sicurezza i vetri laterali ed il lunotto posteriore sono in vetro temperato, mentre il parabrezza di solito è in vetro laminato.

Attualmente si stanno sviluppando parabrezza particolarmente sicuri che hanno un film di rivestimento interno a base di poliuretano resistente ad abrasioni e tagli, quindi capace di garantire una maggiore protezione contro lacerazioni prodotte dalla rottura del parabrezza.

I vetri poi vengono ad essere sempre più sede di servizi ausiliari, opzioni che sono realizzate con tecniche serigrafiche: i circuiti vengono direttamente stampati sul vetro con telai e paste serigrafiche a base d'argento. E' il caso del lunotto termico: in questi anni si sono compiute innumerevoli ricerche per rendere invisibili i filamenti che permettono il disappannamento.

In questo senso, ora si sta sperimentando una pasta trasparente, che oltre a fungere da disappannante, può far interagire il lunotto come paraboloide per la ricezione della radio.

La volontà poi di avere un profilo aerodinamico fluido, cioè avere meno turbolenze e quindi maggior comfort interno, ha suggerito ai tecnici di utilizzare la tecnica di incollaggio dei vetri direttamente sulla scocca: il collante, in questo caso, deve essere protetto dalle radiazioni solari, ecco il perché viene coperto da bande nere (o cromate) perimetrali, che nascondono fra l'altro gli eventuali difetti di incollaggio, impedendo che il collante stesso si degradi, mascherando oltretutto anche i collettori del lunotto termico.

Un importante passo verso l'integrazione dei componenti è stato compiuto nella realizzazione di guarnizioni incapsulate su vetro, la terza luce del freno ne è un esempio; si risolve così il problema del montaggio automatico del vetro tramite robot <sup>[11]</sup>.

## *L'interfaccia automobile-utente*

Gli anni Novanta sono stati definiti dall'equazione, individuata da Mancini, "meno materia, meno tecnologia, più informazione, il tutto al servizio dell'uomo": l'informazione diventa il mezzo per sapere dominare ulteriormente gli eventi, ricorrendo a minor materia e minor tecnologia.

Chi guida un'automobile, infatti, si trova a dover gestire sia l'informazione in entrata, ciò che percepiamo, sia in uscita, ciò che segnaliamo.

La strada intrapresa dai progettisti per aumentare il controllo delle funzioni consiste nell'aumentare i flussi di informazione, evitando però il congestionamento e la conseguente perdita di riconoscibilità dell'informazione.

Un altro punto da sciogliere consiste nella crescente velocità delle nostre azioni e dell'informazione in genere che si scontra invece con l'inerzia della nostra mente che tende a fare media. Convenzioni, simboli pittorici, colori e suoni ci vengono dunque incontro con il vantaggio di essere comprensibili immediatamente.

Un caso su tutti sono i pittogrammi che devono essere immediatamente recepiti da utenti di razza, religione, cultura, nazionalità e costume diversi: essi devono in sostanza rappresentare un'informazione onnicomprensibile.

Anche le convenzioni sui colori rientrano nel campo dell'informazione sensoriale: il rosso viene associato al pericolo, il verde al permesso, il giallo all'avviso di imminente pericolo.

L'input informativo, sensoriale e non, si presenta così come un grosso flusso che dall'esterno investe l'uomo; regolare quindi questo flusso significa stabilire determinate gerarchie o precedenze nell'affluire ai nostri apparati ricettori.

Si avranno, in tal senso, quattro tipi di informazioni:

- 1) Emergenza;
- 2) Check-control;
- 3) Spie di servizio;
- 4) Strumenti ed accessori.

Si può capire come la posizione dei segnalatori sia importante nella determinazione di questa gerarchia: in netta evidenza vengono posti i dispositivi di emergenza, con colori che risaltano agli occhi, fatti in modo da essere azionati e interpretati con facilità e minimo sforzo, in caso di segnalazione, con la minore percentuale di errore possibile di lettura.

**Tachimetro e contagiri:** sono le due funzioni principali nella strumentazione attuale e comunque quelle che necessitano di maggiori dimensioni per consentire una lettura rapida in qualsiasi situazione di guida.

I criteri da seguire nella progettazione di questi due strumenti sono:

- ✓ ubicarli per lo più (vedi ad es. le eccezioni della Lancia Y o della nuova Mini) in linea con la visione per ridurre la parallasse;
- ✓ i diametri consigliati sono compresi tra 70 mm e 77 mm; sono però il numero e la spaziatura dei contrassegni che ne determinano le dimensioni;
- ✓ gli apparecchi da usare sono da scegliersi in base agli errori di lettura che essi producono; ecco alcuni esempi:

<i>SPECIE</i>	<i>ERRORI DI LETTURA PERCENTUALI</i>
Contatori	0.4 %

Quadranti a lettura aperta	0.5 %
Quadranti circolari	10.9 %
Quadranti semicircolari	16.6 %
Quadranti orizzontali	27.5 %
Quadranti verticali	35.5 %

Tabella 1. Apparecchi di lettura

Sono comunque da preferirsi contatori a lettura diretta e quadranti circolari; le scale lineari portano infatti ad errori.

Per la scelta dell'indicatore è importante optare per una lunghezza dello stesso di 48 mm, usandone solo uno per ogni quadrante (eccetto ovviamente l'orologio) dello stesso colore degli indici e tenendolo staccato dai contrassegni; è altrettanto rilevante usare lettere maiuscole, con un rapporto altezza larghezza di 3:2 circa.

Per il tachimetro sono state sperimentate soluzioni diverse, come quella vista sulla Citroen CX, con l'indicatore fisso ed un rullo mobile dotato di cifre bianche su fondo nero; in questo caso la lettura è peggiore del 17 % rispetto ad un analogico tradizionale.

Anche la via del digitale non ha dato confortanti esiti; la lettura di tipo lineare è peggiore del 7 % rispetto a quella di un quadrante analogico, mentre le sole cifre ostacolano la lettura del 15 % in quanto variano costantemente.

La soluzione ottimale sembra infatti quella che adottò la Dedra e le Lancia che la hanno seguita: compromesso tra sistema analogico e digitale.

**Manometri, termometri, indicatori di livello:** le funzioni di questi strumenti sono importanti ai fini di una buona economia di viaggio, ma i dati che forniscono non hanno quel carattere di urgenza che ad esempio ha il tachimetro nei confronti dei limiti di velocità.

Il tipo di input implica un intervento più a lunga scadenza, meno immediato. I criteri progettuali da seguire sono simili a quelli visti per il tachimetro ed il contagiri:

- ✓ per la direzione, l'altezza, la distanza, l'orientamento e la grafica bisogna attenersi alle stesse regole;
- ✓ l'indicatore è seminascondito, non si vede il perno attorno al quale gira;
- ✓ è preferibile un'illuminazione posteriore per trasparenza.

**Spie di segnalazione:** le spie luminose di segnalazione si dividono a seconda della loro funzione: emergenza (situazione critica, cattivo funzionamento), attenzione (lampeggianti) ed informazione (statiche).

Nella loro progettazione bisogna tenere conto di:

- ✓ ridurre al minimo il numero ed i colori;
- ✓ usare il colore rosso per gli allarmi, il giallo per richiamare l'attenzione, il verde per la sicurezza;
- ✓ posizionare le luci di allarme entro i 30 gradi dalla linea normale di visione;
- ✓ usare pittogrammi neri su fondo illimitato.

**Comandi:** i comandi sono un altro punto fondamentale nel controllo e per la sicurezza dell'automobile; fondamentalmente esistono due tipi di comando: a pressione e a spostamento.

Nella loro progettazione e disposizione occorre tenere conto di:

- ✓ dare la massima accessibilità ai comandi consueti, ponendoli entro un raggio circolare di 550 mm dal perno della spalla;
- ✓ dare priorità ai comandi d'uso frequente ed a quelli di emergenza, proteggendoli però dall'attivazione involontaria;
- ✓ raggruppare tra loro i comandi attinenti (es. climatizzazione);
- ✓ prevedere spazio attorno al comando onde evitare di azionare per caso altri comandi <sup>[11]</sup>.

## *Dal progetto al prodotto automobile*

Sinteticamente le fasi che vanno dalla progettazione al lancio di una nuova autovettura si possono suddividere in:

- ✓ ricerca di stile
- ✓ precapitolato
- ✓ preanalisi dei costi
- ✓ definizione della vettura
- ✓ definizione dei metodi dell'industrializzazione
- ✓ aggiornamento dei costi
- ✓ ingegnerizzazione
- ✓ specifiche
- ✓ capitoli
- ✓ preserie
- ✓ omologazione
- ✓ avviamento della produzione
- ✓ lancio della vettura
- ✓ commercializzazione
- ✓ inizio del ciclo di vita dell'automobile

I primi passi nel campo progettuale muovono dall'attento studio di quello che viene definito lo "schermino tecnico", cioè il disegno su cui sono riportate le dimensioni della vettura, gli ingombri della meccanica, dei sedili e la posizione della pedaliera.

In fase di ricerca stilistica si lavora in scala 1:10, sovrapponendosi allo schemino tecnico, sulla vista del fianco vettura e sulla sezione trasversale, perché sono proprio queste due viste che consentono di definire rapidamente la forma generale della vettura.

In questi disegni, non è necessario l'uso del colore; sono invece indispensabili le annotazioni scritte direttamente a fianco del disegno che descrivono le soluzioni adottate.

Obiettivo di questa prima fase di lavoro, deve essere la grande prolificità di schizzi, così da poter indagare meglio tutte le possibili alternative progettuali.

E' dopo una prima definizione delle caratteristiche formali di massa che si passa a disegni colorati ancora più leggibili usando in genere pennarelli, gessetti, pastelli e tempere. L'uso del colore è infatti molto importante, perché, applicato per il fondo, l'ombreggiatura ed i riflessi delle superfici, il disegno perde la sua bidimensionalità diventando così più realistico.

Anche in questa fase, l'obiettivo fondamentale è rappresentato dalla rapidità.

Non bisogna dimenticare a questo proposito che si tratta ancora di disegni preparatori, solo più avanzati rispetto ai primi, che di fatto riprendono l'impostazione generale della vettura: si devono infatti verificare le linee della carrozzeria, rispetto allo schemino tecnico, lasciando comunque ancora grandi libertà per la definizione della forma.

La difficoltà di questa prima operazione consiste nel riprodurre in scala più grande, 1:5, un disegno ancora appartenente alla fase degli schizzi, quindi non ancora perfettamente proporzionato.

La tecnica di rappresentazione usata è quella dei “nastrini”: su fogli lucidi si applicano nastri adesivi neri opachi di altezza molto ridotta, in genere da 0.5 a 1.0 cm; le altezze vengono scelte in base all'importanza delle linee da tracciare.

La comodità di utilizzo di questi nastri consiste nel fatto di poter rapidamente apportare delle modifiche, proprio perché questi sono facilmente riposizionabili anche con raggi di curvatura molto ridotti; in più, lavorando su carta trasparente è possibile di volta in volta verificare gli schemi di abitabilità e di meccanica.

Dopo aver riprodotto eliograficamente un primo disegno a nastri, si può rielaborare l'originale, confrontando così più soluzioni, fino a trovare il miglior compromesso tra forma e funzione.

Non appena il concetto della nuova vettura viene sviscerato, ha inizio il processo di verifica da parte del consumatore: il “concept test”.

L'obiettivo di queste verifiche è di cogliere e capire gli atteggiamenti del consumatore attraverso le sue impressioni, per individuare la direzione di eventuali correzioni alla vettura. Si potranno così avere indicazioni sull'accettabilità e coerenza con il concepì aziendale, sulla percezione in termini di immagine e verificare il posizionamento concorrenziale in cui si inserirà la nuova auto.

Si potrà inoltre indagare l'atteggiamento del consumatore potenziale sull'abitabilità, il comfort, la funzionalità della plancia, della strumentazione, dei sedili, dell'assetto guida e dei rivestimenti.

A questo punto, si passa alla fase dei “color rendering”; si tenta cioè di dare un'immagine fotografica della vettura; le viste più significative, oltre al fianco, sono quelle di tre quarti anteriore e posteriore.

Tecnicamente i “figurini” a colori vengono realizzati con tecnica mista di pastello e tempera, mentre per le prospettive viene utilizzato il CAD. Finita la fase di ricerca sulla carta, si passa alla costruzione dei modelli; il primo momento è costituito dalla realizzazione del piano di forma, il disegno costruttivo che serve ai modellatori per concretizzare le idee del designer.

Il piano di forma viene eseguito ingrandendo in scala naturale il figurino in bianco e nero scelto.

### ***Fasi di sviluppo del piano di forma***

#### ***A. Elevazione:***

- ✓ si riportano i punti in dimensioni reali e si trasferisce la sezione massima di mezzeria;
- ✓ si verificano: abitabilità, angolo di rampa, paraurti, visibilità, discesa dei cristalli.

#### ***B. Frontale e posteriore:***

- ✓ si definisce la massima trasversale;
- ✓ si verificano: abitabilità, grafica del frontale, e posteriore.

#### ***C. Pianta:***

- ✓ definizione del punto di massimo ingombro: si determina l'andamento del filo lamiera massimo in pianta (senza paraurti) in funzione della posizione delle ruote e della loro copertura;
- ✓ si verificano: scuotimenti, visibilità, specchi;
- ✓ si verifica la pianta condensata, si riprendono tutte le larghezze e si riportano su un unico foglio di carta.

D. *Definizione piano teorico cristalli:*

- ✓ i cristalli cilindrici o conici, possono essere a curvatura semplice o doppia;
- ✓ i vetri laterali oltre ad essere piani possono essere curvi;
- ✓ il posizionamento in pianta di queste rette condiziona anche la posizione della linea di cintura.

E. *Master Section:*

- ✓ visualizzazione della forma e verifica che le linee corrano.

F. *Linee minori e dettagli:*

- ✓ verifica e ricontrollo nelle tre viste;
- ✓ determinazione delle linee che non descrivono volumi, come i tagli dei cofani e delle porte, e le linee dei montanti;
- ✓ si definisce il vano targa.

G. *Disegni di particolari:*

- ✓ alcune parti si disegnano indipendentemente per evitare interferenze di linee e difficoltà di lettura;
- ✓ queste parti possono essere: paraurti, cerchioni, specchietti, ecc.

Il piano di forma è il punto d'arrivo di tutto il lavoro svolto fino a questo punto: si potrà dare inizio alla matematizzazione delle dimensioni della carrozzeria, utilizzando macchine a controllo numerico e quindi avviare la produzione di un disegno in scala reale e di un modello a grandezza naturale.

Questo disegno servirà ai tecnici per lo studio delle sezioni, dell'aerodinamica e dell'ingegnerizzazione del prodotto. La realizzazione del modello deve procedere parallelamente al piano di forma provvisorio, in modo che le correzioni di un particolare del prototipo siano seguite da quelle sul disegno e viceversa.

Il modello viene costruito in legno ed epowood, un materiale sintetico che si plasma come fosse legno.

Per la misurazione del modello vengono generalmente impiegati tre strumenti:

- I. un plateau grigliato, posto come piano d'appoggio dello stesso make-up;
- II. un truschino, costituito da un'asta metallica dotata di piedistallo e da un'altra asta a punta, regolabile in altezza ed inclinazione, per la misurazione delle quote;
- III. una squadra in alluminio a L per riportare in altezza le misure x ed y.

La prima sgrezzatura del modello fissa l'altezza lungo tutta la mezzeria longitudinale e definisce il massimo ingombro in pianta, grazie all'inserimento, tra piano d'appoggio e modello, di una sagoma; gli archi passaruote vengono modellati invece con una formina in epowood.

Con la realizzazione dei teorici si ha la possibilità di addolcire i raccordi delle linee in modo graduale; si passa poi a raggiare le superfici, cioè, ad eliminare i teorici, in modo da controllare man mano la corrispondente configurazione sul piano di forma provvisorio.

A questo punto si traccia un reticolo anche sulla superficie del modello e attraverso l'uso dell'astina appuntita del truschino, si verifica l'uguaglianza delle quote appartenenti alle sezioni anteriore e posteriore.

Questo modello viene completato con vetri, specchietti, tergicristalli, griglie, fari, in modo da essere esteticamente identico ad una vettura di serie e sottoposto al “clinic test”, dove potenziali acquirenti lo confrontano con altre vetture, sia di produzione che di ricerca.

In questa sede si verificano: l’impatto che il nuovo modello ha, la caratterizzazione di immagine ed il posizionamento in relazione a vetture concorrenti, le attese di prezzo, il livello di accettazione del prototipo sul piano dell’atteggiamento di acquisto e nei confronti delle vetture concorrenti.

La ricerca per gli interni viene sviluppata con metodologia analoga.

I modelli vengono chiamati manichini di affidabilità e consistono in una struttura esterna appena abbozzata che simula la carrozzeria ed un interno finito e curato nei minimi particolari.

La definizione delle quote di abitabilità avviene necessariamente più o meno in sincronismo con la definizione della forma esterna della vettura e, contemporaneamente alla costruzione della maquette dell’esterno, viene costruita una maquette di abitabilità in cui vengono riprodotte le posizioni degli organi più importanti ai fini dell’assetto guida, cioè il sedile, il volante, i pedali, il cambio ed in particolare la strumentazione ed i suoi comandi, tenendo in conto la forma del tetto, dei montanti e del cofano.

Qui di seguito sono riportati i parametri dimensionali di abitabilità di un’automobile:

- ✓ visibilità
- ✓ appoggiatesta anteriori
- ✓ regolazione appoggiatesta
- ✓ abitabilità sedili anteriori e posteriori
- ✓ posizione autoradio e computer
- ✓ disposizione comandi principali
- ✓ posizione regolatore temperatura
- ✓ illuminazione regolatore temperatura
- ✓ posizione accendisigari
- ✓ posizione leva cambio
- ✓ pedaliera
- ✓ capienza vano bagagli
- ✓ aria condizionata
- ✓ accessibilità vano portaoggetti
- ✓ posizione bocchette di aerazione
- ✓ servosterzo
- ✓ alzacristalli elettrici
- ✓ sedile posteriore sdoppiato
- ✓ sedile regolabile
- ✓ comodità regolazione sedile
- ✓ visibilità cruscotto
- ✓ dotazione cruscotto
- ✓ rumorosità
- ✓ riciclo dell’aria
- ✓ assetto posto guida
- ✓ estetica strumentazione e cruscotto
- ✓ funzionalità della strumentazione e dei comandi
- ✓ rivestimento pannelli porta
- ✓ rivestimento dei sedili
- ✓ rivestimento del pavimento
- ✓ rifiniture interne
- ✓ maniglie
- ✓ distanza capelli/tetto dell’auto

- ✓ distanza tra il piano delle gambe del conducente e l'estremità inferiore del volante
- ✓ distanza fra il bordo inferiore del sedile ed il pedale dell'acceleratore
- ✓ distanza fra l'addome e la base del volante
- ✓ visibilità anteriore dedotta geometricamente dalla posizione degli occhi del conducente
- ✓ superamento dl piano del volante con il braccio teso
- ✓ inclinazione dello schienale

In questa fase anche il sedile incomincia ad acquistare una forma simile a quella definitiva ed è quindi possibile, non solo una verifica più approfondita dell'assetto, dell'accessibilità e della visibilità, ma anche un controllo della raggiungibilità dei comandi (simulacro) e della facilità di lettura della strumentazione. L'approvazione dell'allestimento interno, che può essere contemporanea a quella dell'esterno, conclude la fase di ricerca di stile.

Facendo riferimenti alle fasi di progettazione e lancio viste in precedenza, si può concludere illustrando le principali tappe del ciclo di vita di un'autovettura:

*Introduzione:*

- ✓ strategia della migliore combinazione;
- ✓ qualità, prezzo, pubblicità.

*Sviluppo:*

- ✓ rifornimenti, distribuzione, miglioramenti;
- ✓ spostamento della pubblicità di lancio e conferma della qualità.

*Maturità:*

- ✓ allargamento del mercato attraverso azioni promozionali;
- ✓ modifiche al prodotto: restyling, face lifting.

*Declino:*

- ✓ rivitalizzazione: azioni sul prodotto (edizioni speciali), sulla rete (incentivazione), sul pubblico (offerte speciali);
- ✓ concentrazione di determinati mercati e fasce d'utenza;
- ✓ smaltimento dello stock residuo con azioni adeguate.

Nel capitolo seguente indicheremo più nel dettaglio quelle che sono le procedure standard nell'esecuzione di un progetto mirato all'estetica (o meglio allo stile) o di design automobilistico <sup>[11]</sup>.





# ***Capitolo 1:***

## ***Progettare per l'estetica***

## 1.1. Il City Bumper: quadriciclo innovativo

### 1.1.1 Il progetto concettuale

Il “City Bumper” è un veicolo che trae origine dall’idea di utilizzare una carrozzeria fortemente deformabile su di una meccanica piuttosto semplice, binomio che consente di elevare gli standard di sicurezza personale pur riducendo i costi di acquisto e manutenzione [2].

L’obiettivo è quello di realizzare una nuova tipologia di mezzi di trasporto che si proponga come valida alternativa sia agli attuali scooter, superandone i principali limiti, quali la scarsa sicurezza passiva, la bassa capacità di carico o la poca praticità in caso di mal tempo, sia agli autoveicoli di piccola cilindrata (le cosiddette *citycar*).

Vediamo dunque le principali tappe nella definizione di un prodotto di questo genere.

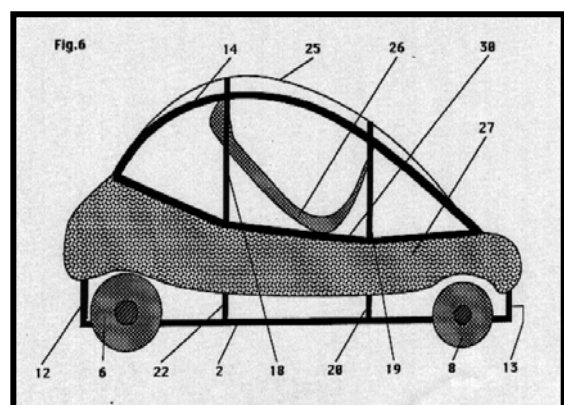
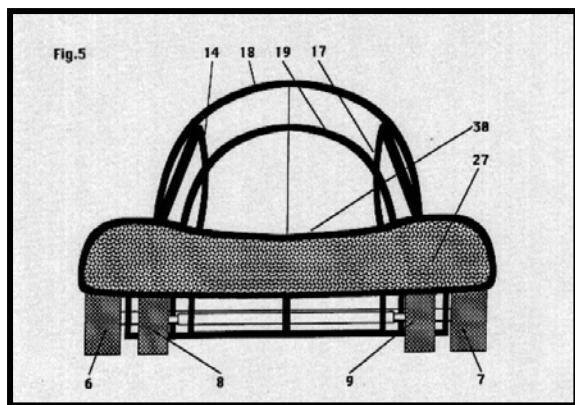


Figura  
Primi  
disegni

Citybumper

10.  
del

Il primo passo consiste nel definire le richieste di mercato (quali i prodotti già disponibili, le tecnologie applicate, le tendenze e gli sviluppi prevedibili), attraverso una accurata analisi dello stesso, alla ricerca delle esigenze non ancora soddisfatte dalla produzione attuale.

In seconda battuta, si passa ad uno studio di fattibilità (i.e. capacità del progettista di ideare soluzioni idonee a soddisfare tutte le richieste del cliente attraverso prodotti ingegneristicamente autoconsistenti), valutata considerando anche i vincoli legislativi a cui il nuovo prodotto deve sottostare (vedi i regolamenti relativi al codice della strada ed alla norme necessarie all’omologazione europea). In tal modo, la sua configurazione risulta quindi essere quella di *quadriciclo leggero dotato di motore elettrico alimentato da batterie*.

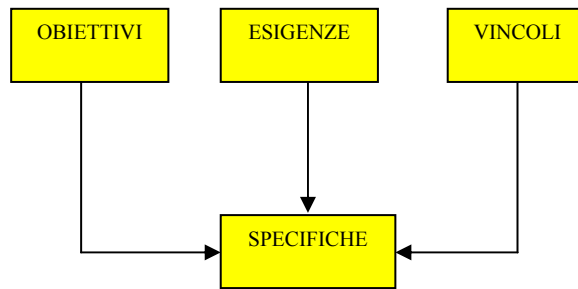
L’ultima fase consiste poi nella progettazione di massima di tutti i componenti essenziali del quadriciclo (telaio, sistema sospensivo, motore, batterie, differenziale, sistema frenante e carrozzeria) sfruttando le soluzioni più semplici ed economiche disponibili.

Per rendere rapido ed agevole il processo di progettazione sono stati impiegati sia programmi di CAD tridimensionale sia software di analisi strutturale.

Analizziamo ora nel dettaglio le fasi di progettazione concettuale attraverso:

- gli *obiettivi* del progetto
- le *esigenze* del mercato

➤ i vincoli legislativi



a) Obiettivi

L'obiettivo principale è quello di *realizzare un veicolo con elevata sicurezza passiva, a basso costo e basso impatto ambientale*, adatto quindi a circolare in ambito urbano anche in periodi di blocco del traffico.

Il mezzo dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- sfruttare il brevetto “AUTOVEICOLO PROTETTO DA UN ANELLO DEFORMABILE” (Prof. Bacchi) ;
- utilizzare una propulsione di tipo elettrica (o in casi particolari anche diesel);
- impiegare componenti commerciali diffusi in campo motociclistico ed automobilistico;
- minimizzare i componenti utilizzati;
- possedere un design accattivante.

b) Esigenze

L'introduzione del veicolo elettrico ha finora incontrato molte difficoltà, non tanto a causa dei vincoli tecnici (con le tecnologie attuali oggi si è in grado di produrre infatti veicoli a trazione elettrica dal funzionamento affidabile) ma per il prezzo elevato dei veicoli stessi, dovuto alla scarsa domanda del mercato che, al momento, non giustifica una produzione su larga scala. Attualmente circolano complessivamente 20.000 mezzi elettrici, in gran parte di proprietà di amministrazioni od operatori di tipo pubblico, che costituiscono solo il mercato di lancio di tali veicoli, ovviamente non sufficiente ad abbattere i costi di produzione. È evidente che se si riuscisse a rendere più appetibile il veicolo elettrico anche ai privati, ne potrebbero derivare volumi di mercato più elevati, sfruttando anche il fatto che mezzi del genere hanno la possibilità di accedere ai centri storici ZTL e che comunque 1/3 delle famiglie italiane possiedono già almeno 2 o più vetture.



**Figura 11. Il Citybumper in versione non definitiva**

**c) Vincoli**

Il mezzo dovrà sottostare alla normativa riguardante l'omologazione dei quadricicli secondo la direttiva comunitaria 92/61

In particolare si afferma che i quadricicli leggeri elettrici dovranno avere un peso a vuoto inferiore a 350 kg, la velocità massima entro i 45 km/h, potenza entro i 4 kW.

Lunghezza [mm]	Larghezza [mm]	Altezza [mm]	Massa massima a vuoto [kg]	Carico utile [kg]	Velocità max [km/h]	N° passeggeri	Cinture sicurezza	Pneumatici	Frenatura	Sporgenze esterne
4000	2000	2500	350	200	45	0/1	a 2 o 3 punti	Codici di velocità e di carico compatibili con i dati di progetto	Superamento prove previste	$R_{min} > 2 \text{ mm}$

**Tab. 1 Le caratteristiche salienti per i quadricicli leggeri**

Con il Nuovo Codice della Strada, in vigore dal 1 gennaio 2003, per condurre quadricicli leggeri sarà necessario un permesso di guida, ottenuto superando la parte relativa alle norme di circolazione dei quiz

per patente B, e sarà legalizzato il trasporto di un passeggero con il solo patentino, ma solo per guidatori almeno diciottenni. L'evoluzione della normativa è quindi in corso, inoltre non sembra occuparsi di due aspetti fondamentali per lo sviluppo dei quadricicli, quali il libero accesso alle zone a traffico limitato dei grandi centri urbani e le prove di crash che resteranno a discrezione del costruttore, visto che nessuna legge le impone ancora.

### 1.1.1.2 Le specifiche generali

Dall'analisi del mercato dei quadricicli, si è rilevato come questi mezzi siano particolarmente costosi se rapportati alle loro prestazioni. In conformità a ciò, considerando il cliente tipo di questi prodotti ed il loro utilizzo, che avviene prevalentemente in ambito urbano, si crea l'opportunità di sviluppare un mezzo con bassi costi d'acquisto, di gestione e con basso impatto ambientale. Per raggiungere simili obiettivi, il mezzo dovrà essere il più semplice possibile, senza quegli accessori che rendono il quadriciclo simile ad un'auto, senza tuttavia renderlo tale. Diventa così naturale sfruttare le potenzialità della propulsione elettrica che garantisce un impatto ambientale eco-compatibile, un costo di gestione molto basso, incentivi fiscali ed assicurativi. L'utilizzo della propulsione elettrica consente anche di minimizzare i particolari meccanici presenti, infatti, tale sistema non necessita di cambio, frizione, ecc... che sono sostituiti dal controllo elettronico.

Proprio per la tipologia d'utilizzo dei quadricicli, che avviene principalmente in zone urbane e quindi in un ambiente in cui il traffico è elevato, le velocità di percorrenza sono modeste e la possibilità di piccoli urti è frequente. È nata l'idea, poi brevettata, di utilizzare una carrozzeria deformabile (si veda il brevetto "carrozzeria ad anello deformabile" del prof. Bacchi). Tale carrozzeria assorbirebbe gli urti in maniera da minimizzare le accelerazioni degli occupanti dei veicoli e quindi gli effetti fisici su di loro e contemporaneamente renderebbe il veicolo esente dalla necessità di ripristinare l'integrità del mezzo; le riparazioni necessarie dovrebbero essere così le minori possibili e poco costose, ottenendo un contenimento delle spese assicurative a carico del proprietario. Tale sistema di carrozzeria/protezione dovrebbe tendere a minimizzare il costo complessivo dell'auto e quindi l'appetibilità sul mercato.

Questa tipologia di carrozzeria è concepita prestando particolare attenzione all'aspetto estetico dove specifiche soluzioni trasformano l'idea dell'anello deformabile in occasione di design creativo.

Elenchiamo qui di seguito i vari motivi che potrebbero spingere un eventuale utente ad acquistare il *City Bumper*:

- non necessita di patente di guida, ma solo di patentino;
- esenzione del pagamento del bollo per 5 anni e riduzione del 75% per gli anni successivi;
- a tutti i veicoli elettrici viene applicato uno sconto del 50% sul premio assicurativo RC;
- è permesso il transito in zone pedonali e ZTL;
- bassissimi costi di gestione;
- non inquina;
- inquinamento acustico nullo.

e tanti altri ancora<sup>[2]</sup>.

### 1.1.1.3 Le specifiche costruttive

Il progetto del quadriciclo in questione è un adattamento di soluzioni progettuali già note; la sua struttura funzionale è conosciuta integralmente e possiamo quindi scomporla nelle varie sottofunzioni che costituiscono il veicolo. Per rendere più semplice l'analisi delle possibili configurazioni del quadriciclo il sistema complessivo è stato suddiviso in tre macro-sottofunzioni: ARCHITETTURA DEL MEZZO, TELAIO e CARROZZERIA; naturalmente queste macro-strutture sono suddivise in elementi più semplici le cui combinazioni creeranno le varianti concettuali conseguibili. Bisogna osservare che i risultati ottenuti dallo studio di queste tre macro-sottofunzioni non sono perfettamente indipendenti tra loro, ma esistono vincoli di natura tecnica od economica che li legano.

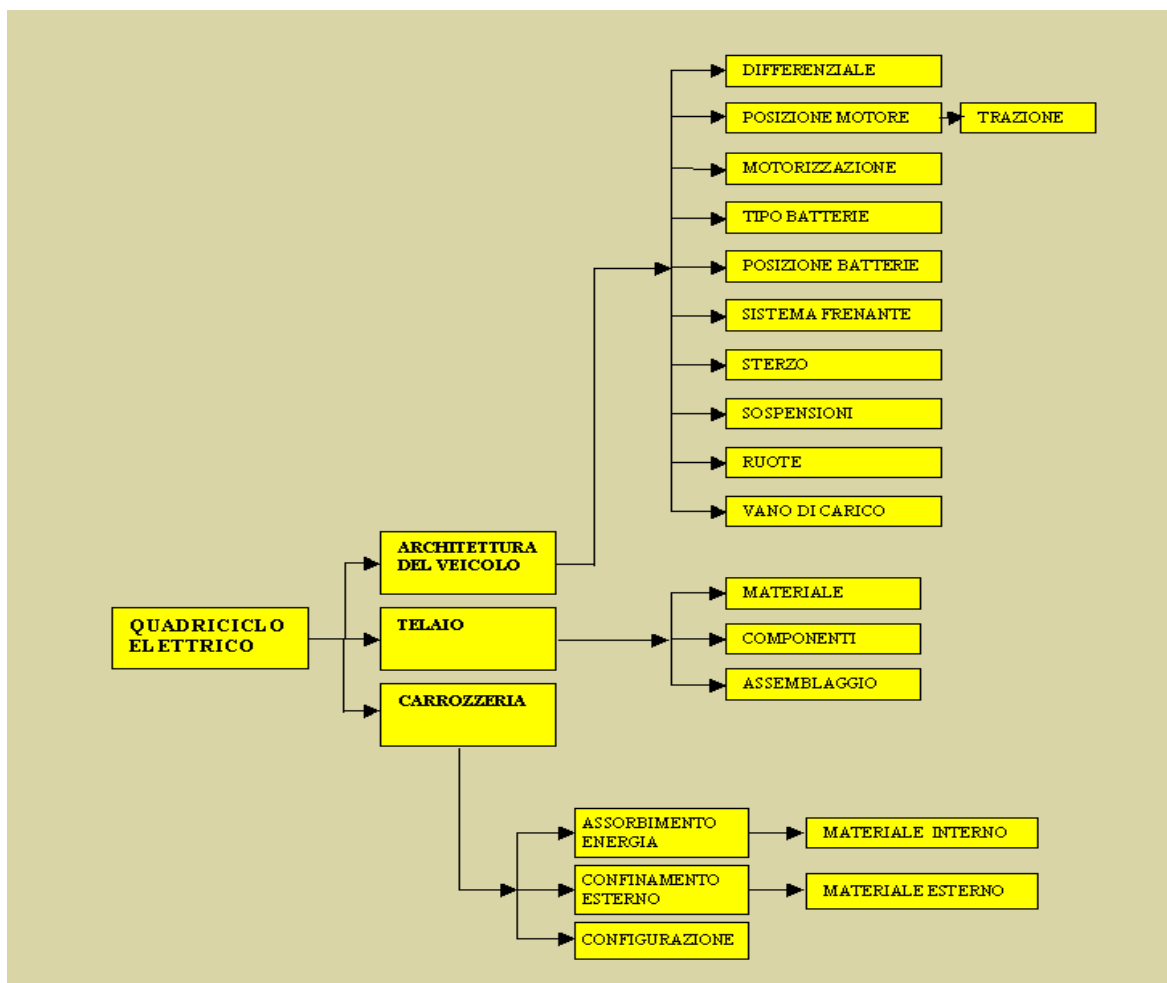


Fig.12 Scomposizione funzionale del City Bumper

Per ottenere i principi di soluzione delle varie sottofunzioni possono essere utilizzati diversi strumenti:

- ricerca in letteratura
- analisi di sistemi naturali
- analisi di sistemi tecnici esistenti



- analogie

E' stato fatto ampio uso dell'analisi di sistemi tecnici esistenti, perché comporta un utilizzo di componenti commerciali già ampiamente studiati e commercializzati, nonché un relativo basso costo di acquisto.

Le caratteristiche riassuntive del quadriciclo ottenute dall'analisi del sistema complessivo sono:

DIFFERENZIALE	Differenziale e riduttore compatti
POSIZIONE MOTORE+TRAZIONE	Trazione posteriore
MOTORIZZAZIONE	Corrente continua
BATTERIE	Piombo acido
POSIZIONE BATTERIE	Lungo il mezzo
SISTEMA FRENANTE	Anteriore a dischi / Posteriore a tamburo
STERZO	Cremagliera
SOSPENSIONI	Anteriore Mc Pherson / Posteriore a forcellone
RUOTE	145 R 13
VANO DI CARICO	Interno all'abitacolo
TELAIO	Tubolari in alluminio saldato, con componenti secondari incollati
CARROZZERIA	Membrane interne in SBR, con rivestimento esterno in NEOPRENE

**Tabella 2. Caratteristiche tecniche del City Bumper**

### 1.1.1.4 Conclusioni

Attraverso una razionale operazione di progettazione si è passato dall'idea innovativa al progetto concettuale di un sistema complesso quale un quadriciclo elettrico.

La forza di un approccio sistematico e modulare alla progettazione, che tenga conto di aspetti di mercato e vincoli legislativi, risiede nella capacità di preservare il progettista da errori di valutazione difficilmente riscontrati da chi risulta spesso più legato agli aspetti di evoluzione tecnologica e soluzioni ingegneristiche.

Il successo di un progetto nasce dalla corretta valutazione delle esigenze degli utilizzatori del prodotto, ma non sempre tale aspetto resta predominante nelle fasi iniziali della progettazione, mentre, di seguito, ogni variazione porta con sé costi e ritardi.

Ad esempio, analizzando il mercato Europeo dell'auto è risultato che il 60% dei guidatori percorre meno di 30 chilometri al giorno e questa distanza è ampiamente percorribile dal veicolo *City Bumper*; ciò significa che la sua limitata autonomia è un falso problema (a patto di sensibilizzare opportunamente l'utente oppure compensarlo mediante altri vantaggi).

I quadricicli attualmente presenti sul mercato presentano al contrario caratteristiche che li rendono costosi e poco razionali. Pur non essendo delle vere automobili, vengono dotati di molti particolari ed optional per creare l'illusione di possedere un'autovettura; essi non vengono progettati inizialmente con trazione elettrica, ma sono un adattamento di una versione diesel e questo comporta un non ottimale sfruttamento degli spazi interni e della distribuzione dei pesi.

Inoltre sono dotati di carrozzerie in materiale termoplastico che hanno scarse proprietà meccaniche e quindi non sono ideali nell'utilizzo urbano, caratterizzato da frequenti piccoli urti.

Il *City Bumper* è un veicolo che nasce sin dall'inizio con la trazione elettrica, così gli spazi interni vengono razionalizzati al meglio per garantire una buona abitabilità del veicolo. Inoltre si sono distribuiti i pesi considerando anche l'elevato peso delle batterie.

La carrozzeria del veicolo progettato viene realizzata con l'utilizzo di Neoprene e SBR, che dopo adeguate ricerche sono risultati materiali ottimali per lo scopo: sono più resistenti agli urti delle termoplastiche e riducono notevolmente i danni in caso di urto. Tutto questo crea un maggiore senso di sicurezza durante la guida, abbassa notevolmente i costi di gestione dovuti alla manutenzione della carrozzeria stessa e, allo stesso tempo, possono venire ridotte le spese assicurative grazie ai minori danni causati a terzi da un eventuale impatto.

I costi di gestione, inoltre, si abbassano grazie alla ridotta presenza di meccanismi, cosa che consente una riduzione degli interventi di manutenzione, aumentando così la vita del veicolo stesso.

Per ridurre altresì il costo di acquisto del *City Bumper*, si è cercato di utilizzare componenti presenti in commercio. Inoltre il *City Bumper* non viene dotato di optional per mascherarlo da autovettura, ma, anzi, viene esaltata la sua semplicità.

## 1.1.2 Il progetto costruttivo

Il progetto del City Bumper è avvenuto tenendo conto delle specifiche imposte dalla normativa in materia di omologazione (direttiva CE 92/61; codice della strada), dai risultati ottenuti dalla ricerca di mercato e dalle specifiche imposte dal committente. L'obiettivo è stato quello di realizzare il progetto di massima di un quadriciclo elettrico che rispettasse le seguenti specifiche:

- Elevata sicurezza passiva tramite l'utilizzo di una carrozzeria ad anello deformabile
- Economia di acquisto e di gestione
- Basso livello di inquinamento e conseguente libero accesso ai centri storici urbani

come, del resto abbiamo già visto sopra <sup>[2], [5], [7]</sup>.

Passiamo ora ad analizzare le singole scelte effettuate per la completa realizzazione del progetto costruttivo del City Bumper.

*Scelta del motore e del riduttore:* con le tecnologie attuali il tipo di motore per autotrazione più adatto è quello in corrente alternata asincrono trifase che unisce affidabilità, leggerezza ed efficienza; la mancanza di reperibilità in commercio di un motore di questo tipo alimentabile da batterie ha portato alla scelta di un motore a collettore in corrente continua.

I motori a collettore utilizzati solitamente per la trazione di piccole vetture elettriche sono quelli derivati dalle "golf cart" di produzione General Electric, essi sono detti "semi motori" in quanto l'albero del rotore è accoppiato ad un solo cuscinetto essendo l'altro inserito nel gruppo differenziale riduttore.

È stato scelto il motore "GE STOCK MODEL D 298 BC48JB1062". Utilizzando un motore elettrico non vi è necessità di equipaggiare il veicolo né di un cambio di velocità né di una frizione in quanto la coppia è inversamente proporzionale al numero di giri e quindi massima a motore fermo; si adotta quindi un gruppo che si accoppia rigidamente al motore che comprende riduttore e differenziale.

Un produttore di questi gruppi è la "Comex S.p.a" di Budrio (Bo) che produce componenti meccanici per quadricicli elettrici tra cui i riduttori-differenziali della serie per trazione elettrica D729 aventi flangiatura e albero d'entrata dimensionati in modo da essere collegati ai semimotori prodotti da General Electric.

Calcolando opportunamente il rapporto di trasmissione in funzione delle caratteristiche del motore e del diametro di rotolamento dei pneumatici si riesce ad ottenere la velocità massima voluta di 45 km/h nella zona di massimo rendimento.

CARATTERISTICHE MOTORE	
Potenza	3 kw a 4400 rpm
Corrente a pieno carico	81 A
Time rating	60min
Tensione di alimentazione	48 v
Rotazione	indifferente
Cuscinetto	a sfere
Lunghezza	201.7 mm
Montaggio	orizzontale
Profilo scanalato di accoppiamento	19 denti femmina
Peso	21.8 kg

CARATTERISTICHE DIFFERENZIALE - RIDUTTORE	
Velocità max in entrata	13000 rpm
Coppia max ammessa alle uscite	1100 Nm
Lubrificazione	olio SAE 30
Quantità media di olio	0.5 kg
Peso senza olio	34 kg
Rapporto di trasmissione	10.13:1

Tabella 3. Caratteristiche del motore e del differenziale

*Scelta del numero e del tipo di batterie:* da un'analisi, sia tecnica che di mercato, sono state ritenute idonee le batterie **G-teK XCL 105**: questo tipo di accumulatori al piombo acido è particolarmente indicato per applicazioni cicliche e quindi per il settore fotovoltaico e per l'autotrazione. Sono state prese in considerazione anche batterie al Ni-Cd e al Litio ma l'incremento prestazionale che garantiscono non è sufficiente a giustificare l'incremento del costo di acquisto.

CARATTERISTICHE BATTERIE	
Tensione	12 V
Capacità:	85 Ah
Massa:	28,5 kg
Costo:	203 Euro
Capacità specifica	2.98 wh/kg
Costo specifico	2.39 Euro/wh

Quattro batterie di questo tipo collegate in serie garantiscono una tensione di 48V necessaria al motore scelto consentendo un'autonomia di 108 km a spese di una massa totale di 104 kg.

*Sistema frenante:* dall'analisi funzionale è emerso che la soluzione ottimale è quella di adottare un sistema frenante misto, dischi anteriori e tamburi posteriori. È stato scelto di non occuparsi del progetto dei freni ma di acquistare i componenti da un fornitore qualificato. Leader nella fornitura di componenti per quadricicli si è rivelata la Comex S.p.a. di Budrio (BO) che interpellata si è ritenuta in grado di fornire i componenti richiesti.

*Sintesi delle sospensioni:* ipotizzata una massa massima tecnicamente ammissibile di 700 kg sono stati determinati i carichi sulle sospensioni e, prendendo in considerazione la struttura del sistema sospensivo, quello anteriore caratterizzato da uno schema tipo Mac Pherson, quello posteriore a bracci longitudinali, sono state calcolate le sollecitazioni sulle molle

Ad ogni schema sospensivo sono state analizzate due situazioni di funzionamento distinte, una considera il veicolo fermo, l'altra il veicolo alla sua massima accelerazione compatibilmente con la coppia fornita dal motore.

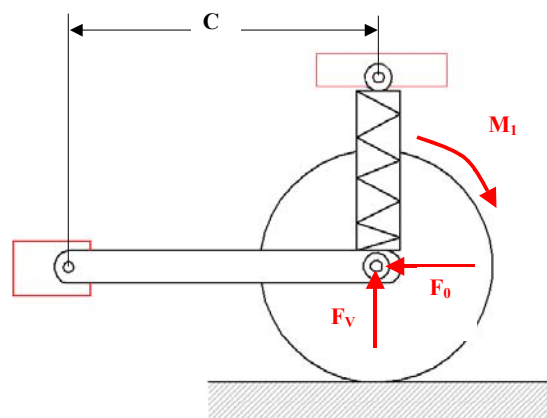


Fig.13 Sospensione posteriore

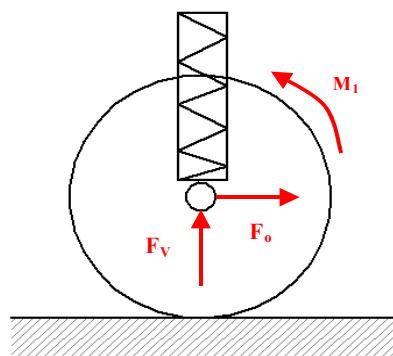
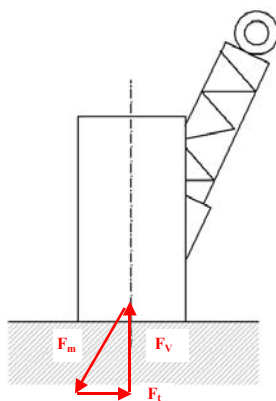


Fig.14 Sospensione anteriore

Il calcolo delle sollecitazioni sulle sospensioni è stato necessario per il calcolo delle dimensioni di massima delle molle e quindi per conoscere lo spazio da dedicargli.

**Telaio:** il telaio è la struttura portante del veicolo; serve a:

- collegare tra di loro gli assali
- mantenere la posizione relativa fra le ruote
- sostenere il motore e gli organi di trasmissione delle ruote
- portare la carrozzeria ed il carico utile ripartendo sulle ruote le forze agenti su di esso

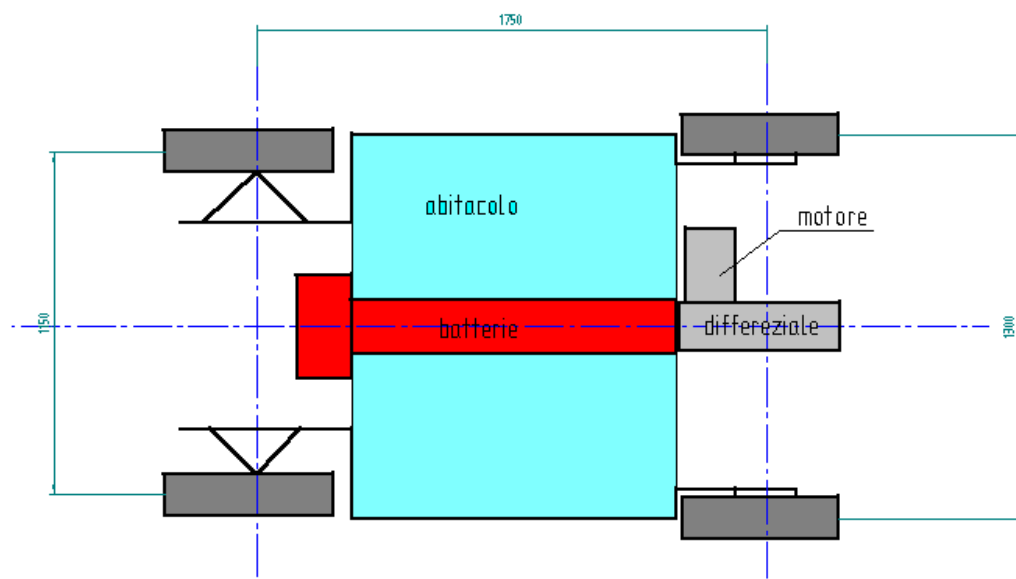
Il progetto di massima del telaio viene effettuato in base a ipotesi semplificative sul valore, la direzione e la distribuzione dei carichi dedotti da costruzioni simili per dimensioni e prestazioni. I calcoli possono essere effettuati solo al termine del progetto di massima cioè quando siano determinati i particolari costruttivi di tutto il veicolo.

Del veicolo da progettare sono già stati fissati: il tipo le dimensioni di massima (passo e carreggiata), la massa tecnicamente ammissibile, i tipi delle sospensioni anteriori e posteriori, il tipo di motore e la sua potenza. Imponendo passo, carreggiata anteriore, carreggiata posteriore e angolo di sterzata dei pneumatici è stato dedotto lo schema di figura dal quale risulta evidente lo spazio utile disponibile per l'abitacolo e per installare i componenti già noti.

In seguito è stato realizzato il modello tridimensionale del pianale in cui è stato inserito il gruppo motore-differenziale e le batterie secondo le disposizioni assegnate.

Le batterie sono state inserite all'interno di due contenitori in alluminio rigidamente collegati al telaio, tale soluzione permette di assicurarne il posizionamento anche in caso di elevate decelerazioni dovute ad urti.

Questa architettura consente una distribuzione dei pesi ottimale, fattore fondamentale per garantire una buona guidabilità del veicolo. Per proteggere il motore dagli urti e per risparmiare spazio in lunghezza il gruppo motore-differenziale è stato montato inclinato di 60°. Per verificare la disponibilità di spazio nell'abitacolo e per facilitare la realizzazione della parte superiore del telaio sono stati inseriti due manichini in posizione di guida e uno come passeggero, realizzati rispettando la taglia di una persona media (altezza: 1.75m; massa: 75 kg).



**Fig.15 Schizzo del pianale: disposizione organi principali**

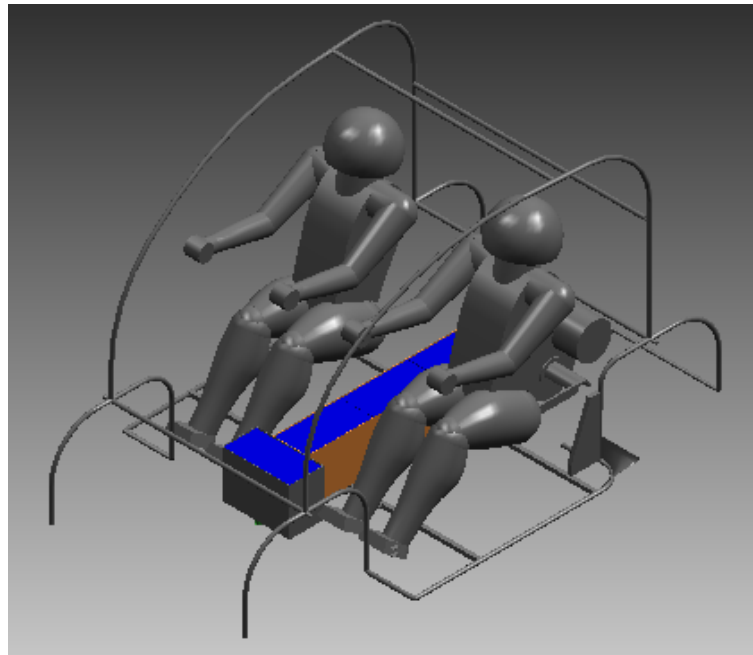


Fig.16. Massa telaio = 20 kg; Massa totale = 169 kg

È stato scelto uno sviluppo in altezza superiore alla media delle microvetture presenti sul mercato per dare spaziosità all'abitacolo altrimenti di volume ridotto. La validità di questa soluzione è confermata dall'attuale produzione automobilistica di tutti i segmenti.

Nel design del tetto si è cercato di non occupare l'area sovrastante le batterie per permetterne l'estrazione dall'alto e per facilitare la produzione di una eventuale versione dotata di un ampio tetto apribile. Per garantire una sufficiente rigidezza si è però ritenuto opportuno inserire una barra trasversale. Tale barra può essere smontata nel caso che si debbano estrarre le batterie per manutenzione o sostituzione.

In seguito sono stati disegnati i modelli tridimensionali dei freni e dei semiassi secondo i dati forniti dalla Comex S.p.A., e dei pneumatici utilizzati per realizzare il gruppo sospensioni anteriori ed il gruppo sospensioni posteriori <sup>[5], [6]</sup>.

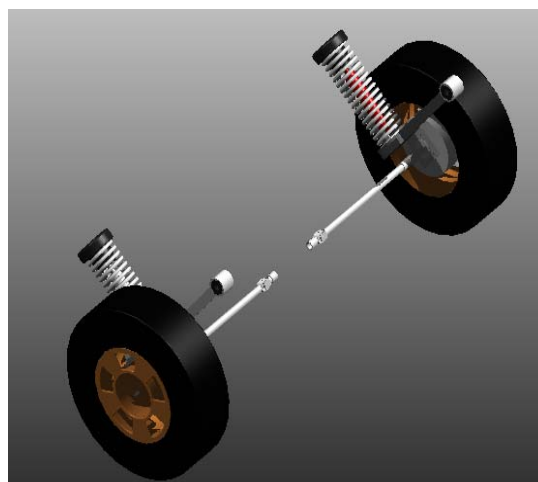
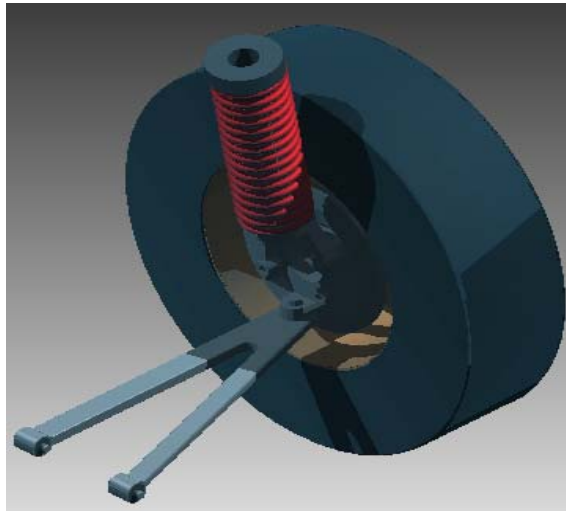


Fig. 17. Ponte posteriore

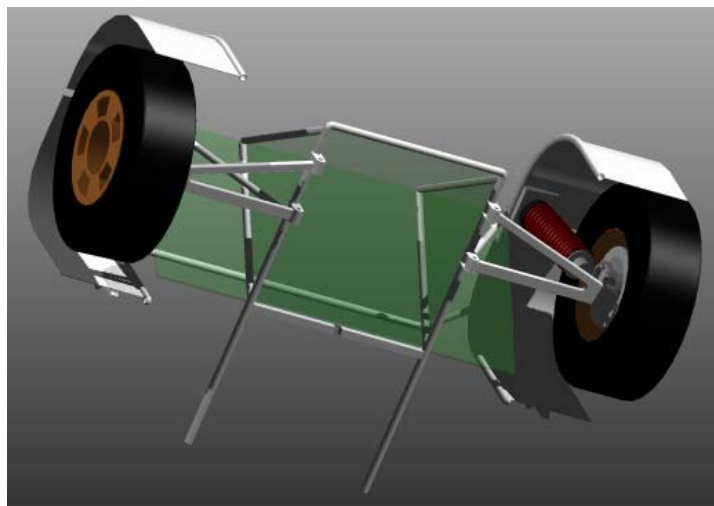


**Fig.18. Sospensione anteriore**



Il disegno degli ancoraggi delle sospensioni anteriori è stato effettuato in modo tale da consentire la realizzazione di un vano protetto dagli urti riservato ai sistemi elettronici di controllo del motore.

In previsione del montaggio della particolare carrozzeria prevista sono stati realizzati i parafanghi, quelli anteriori prevedono un profilato di rinforzo destinato ad ospitare gli attacchi per le cerniere degli sportelli.



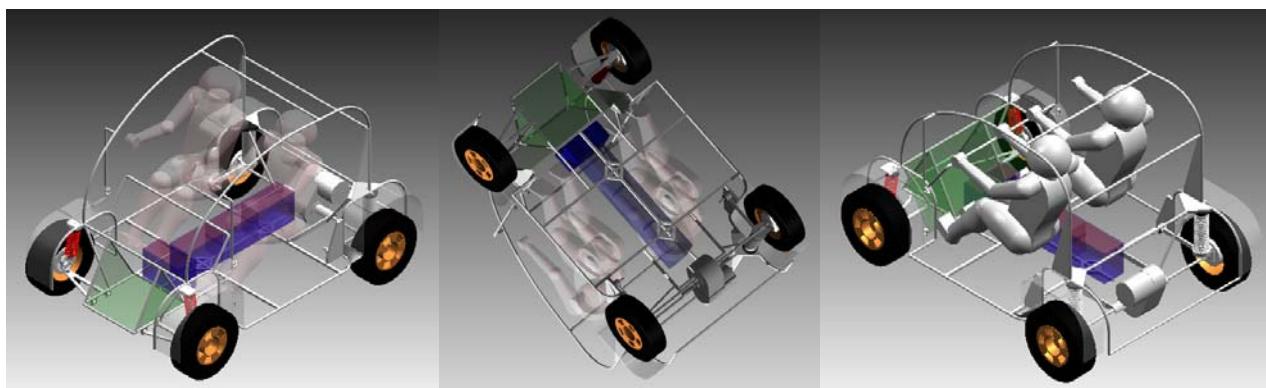
**Fig.19. Ponte anteriore**

In questa fase sono stati aggiunti particolari di rinforzo per permettere di realizzare gli attacchi dei braccetti, degli ammortizzatori e le superfici d'appoggio delle molle, sono state previste anche due piastre necessarie per gli attacchi delle cinture di sicurezza.

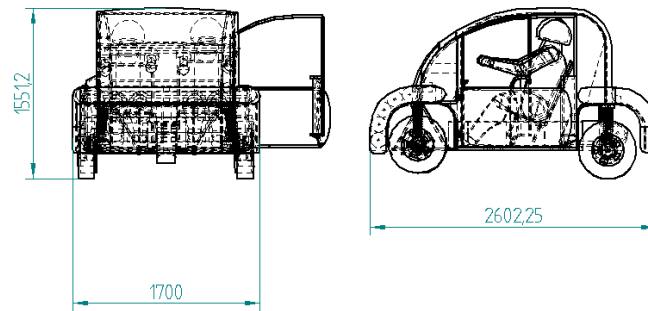
Gli sportelli in origine erano previsti ad “ala di gabbiano” ma l’elevato sviluppo in altezza ne avrebbe impedito l’apertura in spazi ristretti, si è quindi optato per una soluzione convenzionale anche se la carrozzeria e la forma dei parafanghi posteriori ha portato ad un design insolito. Data l’elevata curvatura dei finestrini laterali per permetterne l’apertura è necessario che scorrano lungo l’asse longitudinale del veicolo.

Terminato l’assemblaggio del telaio si è passati al montaggio dei pannelli deformabili della carrozzeria. Il pannello anteriore e quello posteriore sono precedentemente incollati su di un telaio ausiliario in ABS da fissare alla struttura portante del veicolo tramite viti. Questa configurazione permette di rendere facilmente smontabili i pannelli sia per accedere ai vani sottostanti sia per un’eventuale sostituzione.

L’ultima fase è stata quella di creazione dell’abitacolo tramite pannelli in materiale termoplastico preformato, il tetto e il parabrezza sono formati da un unico pannello in plexiglas che, per un’eventuale versione decappottabile, può essere diviso in due parti con il parabrezza fisso ed il tetto asportabile.

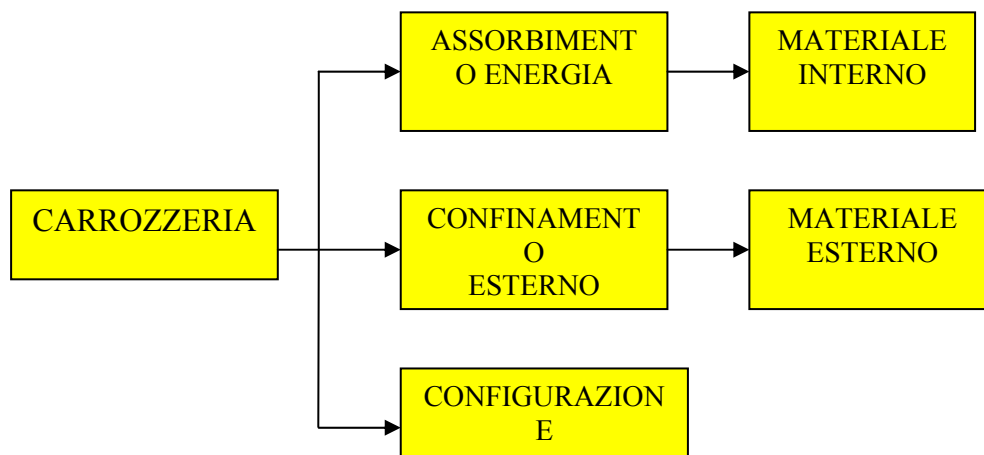


**Fig.20. Massa sospesa telaio 43 kg, massa sospesa totale 218 kg**



*Carrozzeria deformabile*: la carrozzeria si basa sul brevetto “Autoveicolo protetto da anello deformabile” (realizzato dal Prof. Bacchi) onde ottenere una protezione dei passeggeri superiore alle carrozzerie convenzionali e contemporaneamente essere esente da manutenzione dopo urti a bassa velocità di impatto.

Per ottenere queste caratteristiche innovative viene separata la funzione di assorbimento dell’energia da quella di confinamento della carrozzeria. Le sottofunzioni della carrozzeria sono così divise come sopra.

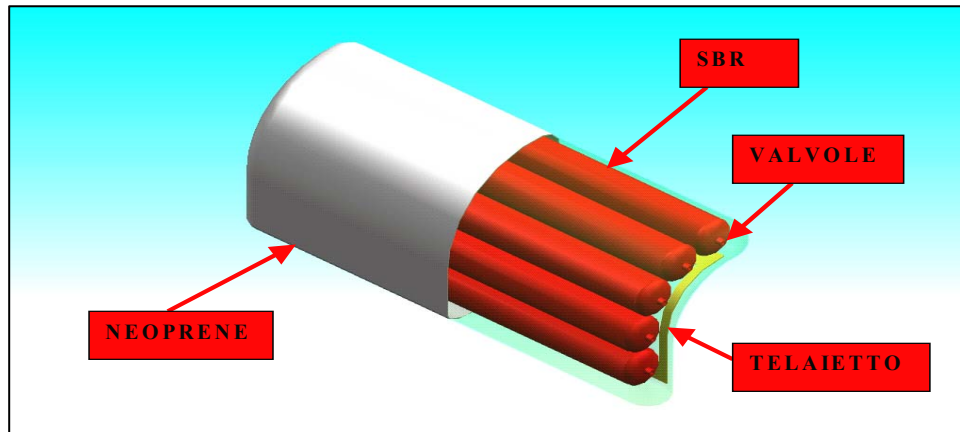


**N.B.:** la funzione del materiale interno è quella di assorbire l’energia dell’urto, tale funzione può essere svolta da materiali solidi (es. tecnopolimeri) o aeriformi. Nel processo di scelta di questa sottofunzione si è preferita la seconda strada per consentire un contenimento dei pesi. Con questa scelta l’assorbimento dell’energia è garantito da una serie di valvole montate sulla struttura esterna della carrozzeria e tarate ad una determinata pressione; esse consentono all’aria di fuoriuscire e disperdere l’energia immagazzinata durante la compressione.

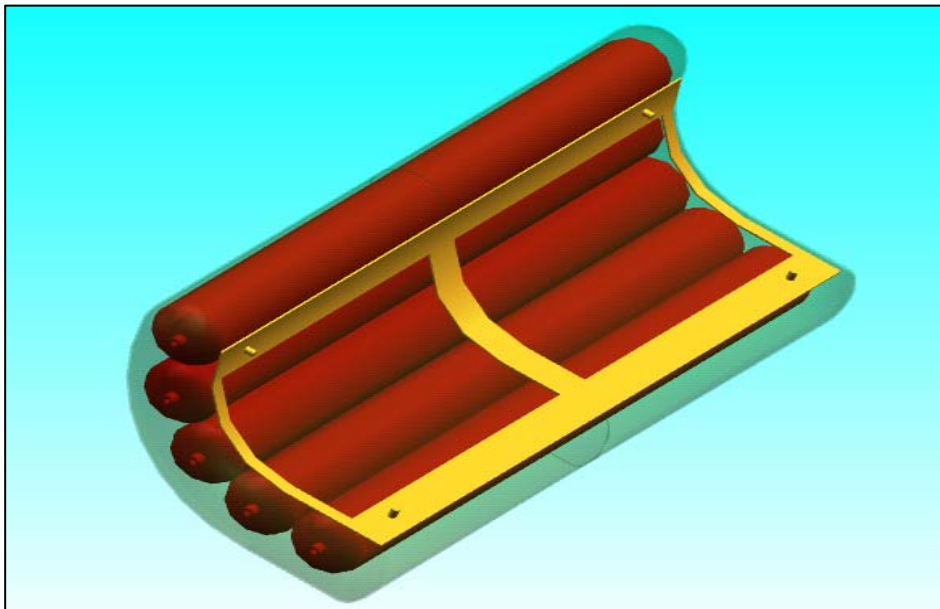
Il materiale esterno deve possedere caratteristiche meccaniche che gli consentono di resistere ai picchi di tensione durante l’urto del mezzo; inoltre deve essere il più leggero possibile per consentire un contenimento dei pesi e deve poter resistere agli agenti atmosferici.

La *carrozzeria* è composta da:

- un contenitore interno in SBR leggermente in sovrappressione, provvisto di valvole di sfogo; questo componente è atto ad assorbire l’urto. La struttura/forma del recipiente interno è stata definita in un secondo momento, perché da essa dipendono le tensioni che si generano durante la compressione dell’aria.



- una sacca esterna in Neoprene che avvolge il contenitore in pressione con funzione di protezione dagli agenti atmosferici; a tale componente è assegnato anche il compito di dare una forma propria alla carrozzeria e renderne il design più accattivante.



**Figg. 21. Gli shock-absorbers**

Alla sacca in Neoprene viene incollato un telaio supplementare in alluminio, quest'ultimo viene poi assemblato al telaio del veicolo tramite viti. Ciò consente in caso di necessità di smontare facilmente la carrozzeria quando si deve accedere a zone inaccessibili dal pianale o del fondo vettura durante operazioni di manutenzione.

È stato analizzato, in maniera semplificata, ciò che accade nella carrozzeria deformabile quando si ha un urto tra il veicolo ed un ostacolo determinando, attraverso un modello semplificato della carrozzeria, le sollecitazioni che si generano nelle membrane interne della stessa.

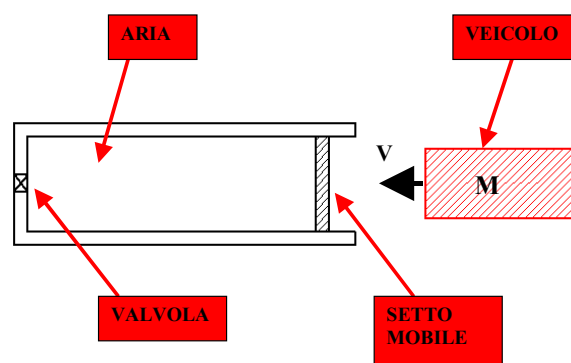
Come primo passo è stato considerato l'impatto del veicolo marciante a velocità moderata contro un ostacolo immobile ed infinitamente rigido. È stato ipotizzato che il mezzo si debba arrestare in 0.1 m e l'energia posseduta da esso venga completamente assorbita dalla carrozzeria deformabile.

IPOTESI DI LAVORO	
<b><i>v</i> velocità impatto</b>	5 km/h = 1.4 m/s
m massa veicolo	700 kg
s spazio di arresto	0.1 m

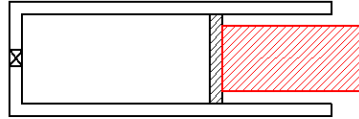
Tabella 4. Caratteristiche di lavoro (ipotesi)

Durante l'urto del veicolo l'aria contenuta nella membrana si comprime aumentandone la pressione interna; come prima ipotesi si considera la compressione del fluido come adiabatica essendo molto veloce il processo di collisione; a questo punto entrano in gioco le valvole presenti sulla parete della membrana interna, queste valvole devono essere tarate in modo tale che, raggiunta una certa pressione interna, si aprano e lascino fuoriuscire l'aria in pressione ottenendo così la dissipazione dell'energia immagazzinata.

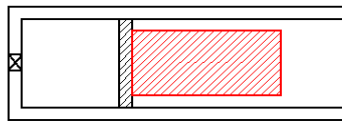
*Modello del paraurti:* Il veicolo di massa "M" e velocità "V" incontra un ostacolo sul suo percorso, la carrozzeria deformabile viene rappresentata da un cilindro rigido provvisto di setto mobile e di valvola:



Il mezzo urtando l'ostacolo inizia a comprimere l'aria interna alle membrane della carrozzeria:



La pressione interna alla carrozzeria raggiunge il valore di taratura delle valvole, la valvola inizia ad aprirsi:



L'aria compressa contenuta nella carrozzeria inizia a defluire all'esterno disperdendo così l'energia posseduta dal veicolo:

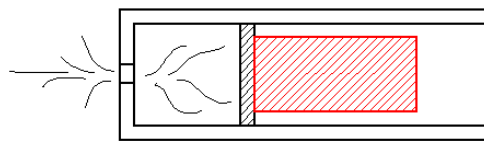


Fig.22. Schema di funzionamento di un shock-absorber

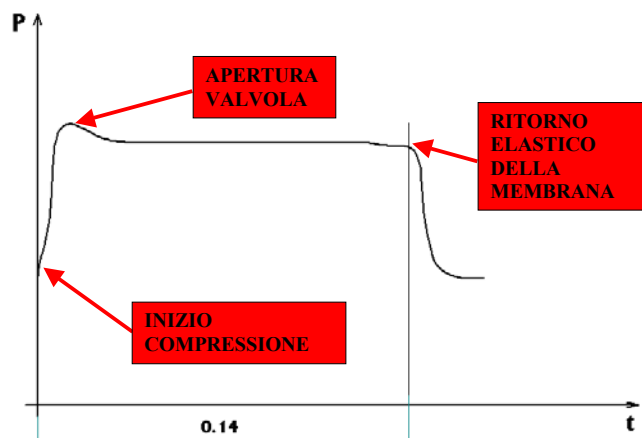
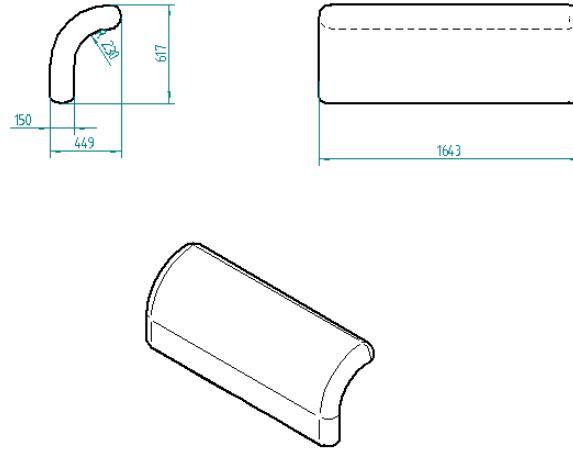


Fig.23. Andamento teorico della pressione all'interno della carrozzeria

**PRIMA FASE (compressione adiabatica del mezzo):** l'energia del mezzo viene immagazzinata nel lavoro di compressione dell'aria. Attraverso il lavoro specifico si determina il volume specifico di fine compressione  $v_2$  e poi la pressione finale  $P_2$ . Dalle dimensioni del veicolo si ipotizza il volume del paraurti anteriore, questo valore andrà rettificato in funzione dello spazio occupato dalle membrane interne.



$V_1$ volume paraurti	$0.102 \text{ m}^3$
$\rho$ densità aria alla pressione di gonfiaggio	$1.293 \text{ kg/m}^3$
$P_1$ pressione di gonfiaggio	$1.1 \text{ kg/cm}^2 = 110000 \text{ N/m}^2$
$k_{\text{aria}}$	$1.4$
Massa d'aria contenuta nel paraurti	$M = \rho \cdot V_1 = 0.13 \text{ kg}$
Volume specifico alla pressione $P_1$	$v_1 = \frac{V_1}{M} = 0.784 \text{ m}^3/\text{kg}$
Lavoro specifico	$l = \frac{L}{M} = 5277 \text{ J/kg}$
Il volume specifico alla fine della compressione	$v_2 = \frac{v_1}{\sqrt[k]{1 - \frac{l \cdot (k-1)}{P_1 v_1}}} = 0.738 \text{ m}^3/\text{kg}$
Pressione a fine compressione	$P_2 = P_1 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^k = 119717 \text{ N/m}^2$

**SECONDA FASE (espulsione dell'aria):** nella seconda fase l'aria compressa deve essere espulsa dalle valvole tarate; si vuole determinare il numero e la sezione di passaggio di esse. I dati iniziali sono i seguenti:

$P_1$ pressione interna	120000 N/mm <sup>2</sup>
$P_2$ pressione esterna	100000 N/mm <sup>2</sup>
$V$ volume d'aria	0.096 m <sup>3</sup>
$t$ tempo di lavoro	0.14 s
$\rho$ densità aria	
$W_1, W_2$ velocità fluido	
$Z_1, Z_2$ altezza condotti	
<b><math>R</math> perdita di carico</b>	

Dall'equazione dell'energia di un fluido in un condotto:

$$P_2 + \rho \frac{W_2^2}{2g} + \rho z_2 = P_1 + \rho \frac{W_1^2}{2g} + \rho z_1 - \rho R$$

Considerando trascurabile la velocità del fluido in uscita  $W_2$  e l'altezza dei condotti ( $Z_1=Z_2$ ), si ottiene la seguente perdita di carico:

$$\Delta P = \rho R = \rho \frac{W_1^2}{2g}$$

Da cui si può ricavare la velocità del fluido in uscita:

$$W_1 = \sqrt{\frac{\Delta P \cdot 2g}{\rho}} = \sqrt{\frac{20000 \cdot 2 \cdot 9.8}{1.35}} = 530 \text{ m/s}$$

La portata in volume del fluido è:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0.096}{0.14} = 0.68 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = n \cdot S \cdot W_1$$

Considerando “n” valvole si ottiene una sezione S della singola valvola:

$$nS = \frac{Q}{W_1} = \frac{0.68}{530} = 0.01283 \text{ m}^2 = 1283 \text{ mm}^2$$

$$\text{con } n = 5 \rightarrow S = 256.6 \text{ mm}^2 \rightarrow S = \pi \cdot r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 8.2 \text{ mm}$$

Si è ottenuto quindi un insieme di 5 valvole di raggio  $r \approx 8.2$  mm.

**Tensioni nelle membrane interne:** l'involucro interno è sottoposto a tensioni di tipo membranale; per poter resistere meglio ai picchi di pressione esso è stato suddiviso in più setti cilindrici (tale forma consente di limitare le tensioni). Naturalmente i vari cilindri saranno tra loro collegati tramite piccoli condotti onde consentire all'aria di passare da un cilindro ad un altro durante la fase di urto e permette ad essa di distribuirsi su più cilindri ottenendo pressioni di picco interne minori rispetto al caso di più cilindri indipendenti. Il fondo dei tubi possiede una forma ellittica, questo per contenere l'ingombro assiale del contenitore e contemporaneamente limitare le tensioni massime su di esso.

Dati iniziali:

D diametro tubo	140 mm
P sovrappressione interna	0.5 atm=0.05 N/mm <sup>2</sup>
a semiasse maggiore ellisse	70 mm
b semiasse maggiore ellisse	30 mm
$\sigma_{sn}$ carico snervamento	27 N/mm <sup>2</sup>
$R_s$ raggio del fondo	60 mm
s spessore di parete	
$\eta$ grado di sicurezza statico	2
$\xi_R$ grado di sicurezza	5
e efficienza	1

Utilizzando i dati iniziali è possibile, sfruttando la teoria dei recipienti in pressione, determinare lo spessore del serbatoio

$$s \geq \frac{PD}{2\sigma_{amm}} = 0.26 \text{ mm}$$

Spessore minimo del fondo ellittico:

$$s \geq \frac{PR_s \xi_R}{200\sigma_{sn}} = 0.27 \text{ mm}$$

Dai calcoli ottenuti si deduce che lo spessore richiesto è di 0.3 mm, naturalmente questo valore andrà rettificato dato che è rappresentativo di un calcolo di primo tentativo. Infatti non si è tenuto conto della dinamica dell'impatto ostacolo-carrozzeria-telaio, della elasticità dell'elastomero e della effettiva forma del fondo del cilindro; calcoli molto più raffinati e vicini alla realtà verranno effettuati in seguito attraverso programmi di simulazione agli elementi finiti che tengano conto di questi fattori.



### 1.1.3 L'Analisi Strutturale

L'analisi strutturale <sup>[6], [7], [8]</sup> è stata affrontata cercando di puntare ad i seguenti obiettivi:

- ✓ Progettazione del telaio nel caso statico
- ✓ Progettazione del telaio a prova di crash test
- ✓ Calcolo di verifica per le saldature degli elementi tubolari
- ✓ Progettazione paraurti innovativo in gomma in pressione
- ✓ Metodo d'incollaggio del paraurti

#### 1) Progettazione del telaio nel caso statico:

Questa fase è stata portata avanti utilizzando tre tipologie diverse di analisi del telaio:

- Wire Frame;
- con elementi Shell;
- con l'utilizzo di Elementi Solidi.

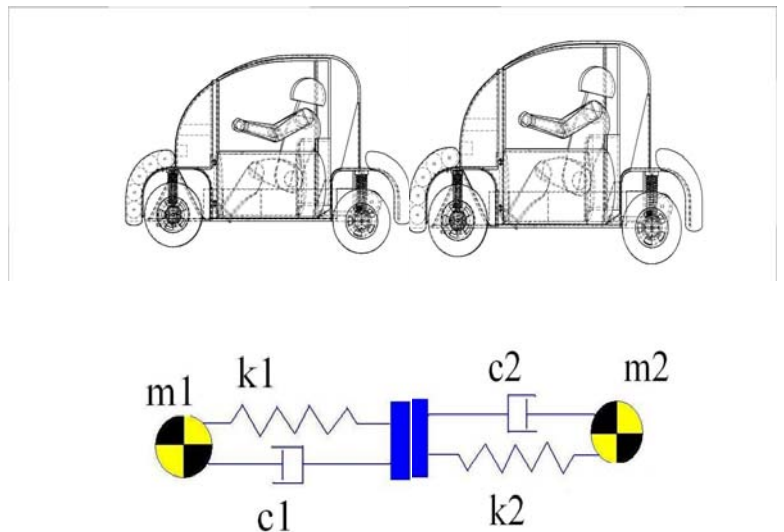
Grazie a conti molto accurati, si è giunti a due importantissime conclusioni: la prima afferma che il materiale da scegliere deve essere l'alluminio; la seconda, invece, ci dice che il diametro e lo spessore radiale della struttura tubolare del telaio, affinché quest'ultima risulti affidabile e sicura, devono essere rispettivamente pari a 40 mm e 3mm.

#### 2) Progettazione del telaio a prova crash test:

Le analisi effettuate in questa fase sono state di tre tipi:

- urto frontale disassato al 40% con velocità d'impatto pari a 64 Km/h;
- urto laterale contro carrello mobile con velocità d'impatto pari a 50 Km/h;
- urto laterale contro palo con velocità d'impatto pari a 29 Km/h.

Poiché non è stato possibile effettuare prove di crash test né reale né virtuale, allora è stato studiato un modello matematico, che descrive appunto i fenomeni d'impatto elencati qui sopra, come il seguente:



$$\xi_1 = A + Bt$$

$$\xi_2 = e^{-\zeta\omega_n t} (C \cos \omega_d t + D \sin \omega_d t)$$

dove:

$$\zeta = c_{eq} / 2 m_{eq} \omega_n$$

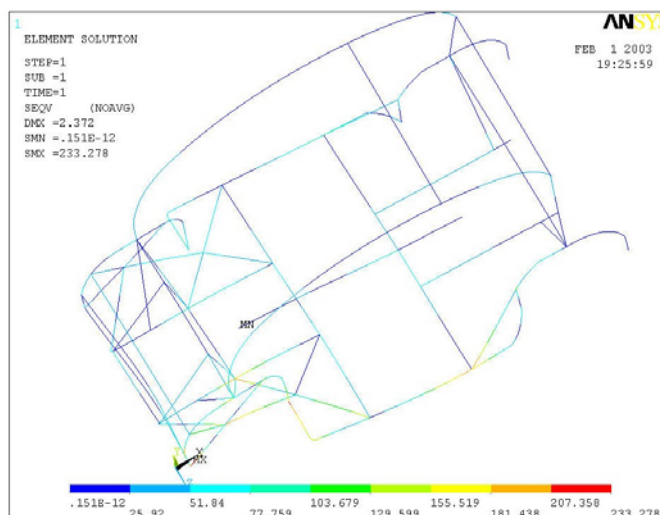
$$\omega_d = \omega_n (1 - \zeta^2)$$

ed  $A, B, C$  e  $D$  sono calcolabili per via numerica.

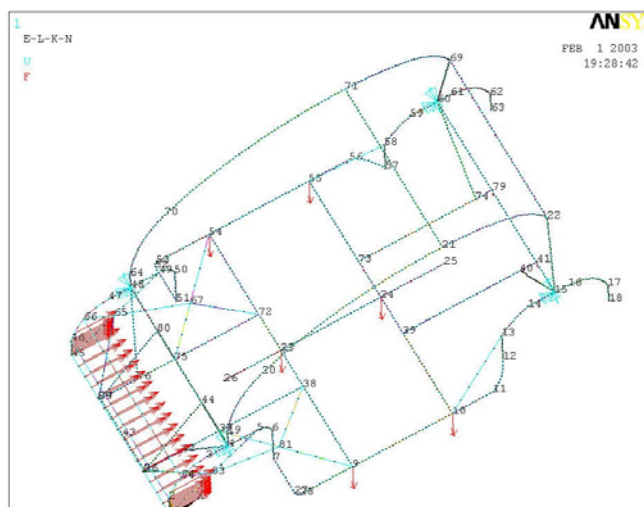
E' stato anche affrontato brevemente il caso peggiore: quello di impatto frontale totale contro un blocco rigido di cemento, ma per brevità non riportiamo qui di seguito i risultati numerici.

A questo punto sono stati realizzati ancora una volta i modelli di telaio sia in Wire Frame che in Shell, in base ai risultati ottenuti. Vediamo qui sotto alcune immagini:

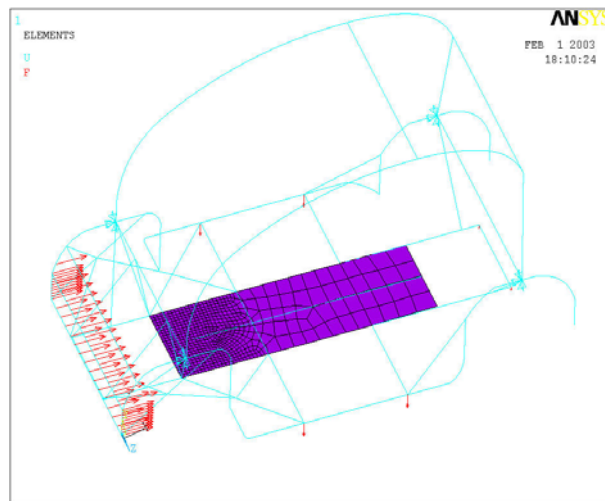
- *applicazione del modello wire frame al crash frontale disassato al 40%:*



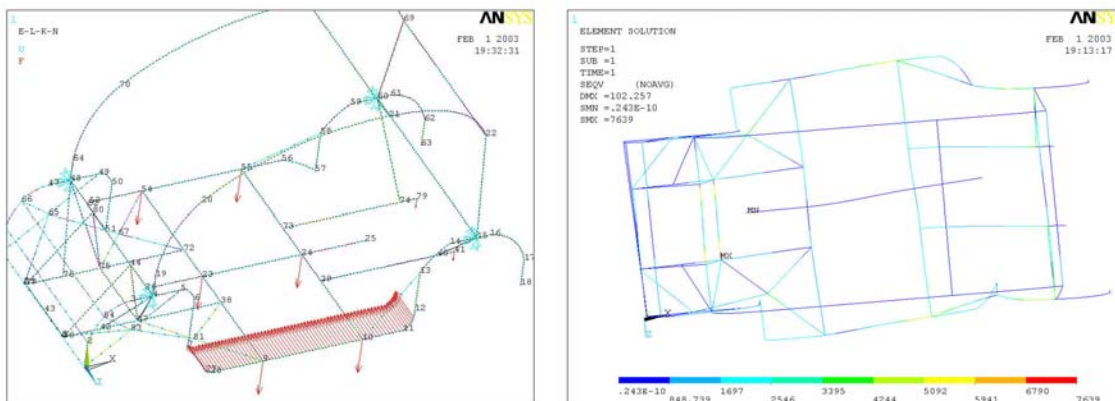
- *applicazione al modello wire frame per crash frontale totale:*



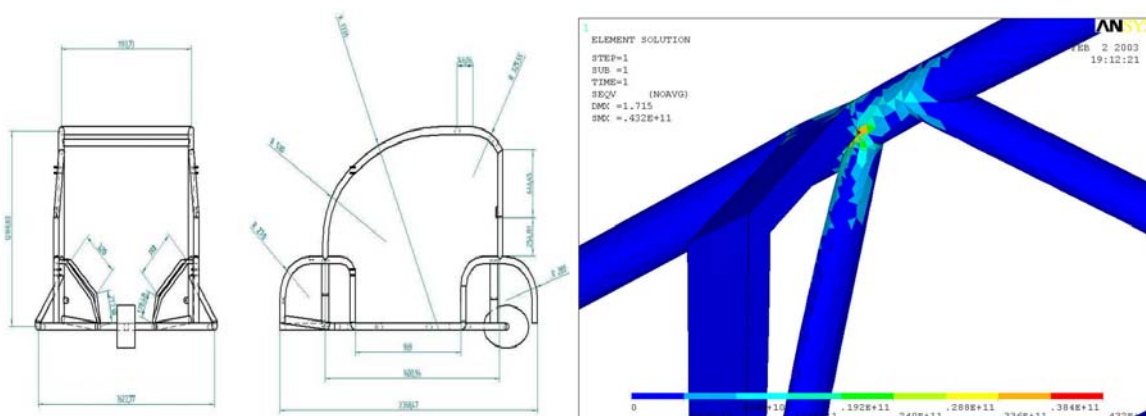
- *applicazione al modello wire frame per crash frontale totale con base da irrigidimento:***Errore.**



- *applicazione del modello wire frame per crash laterale contro carrello mobile:*



- *applicazione al modello con elementi shell per crash frontale parziale:*



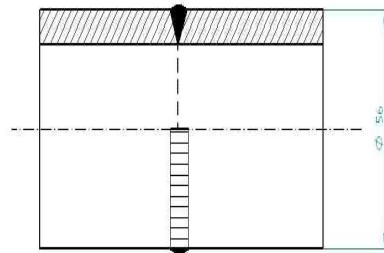
### 3) Calcolo di verifica per le saldature degli elementi tubolari

I modelli ottenuti sono anche serviti ad individuare il tipo di saldatura più adatta all'unione dei singoli moduli costituenti il nostro telaio ed, inoltre, lo spessore del cordone della saldatura stessa: il primo deve essere di tipo *TIG*, mentre il secondo deve risultare pari a *8mm*. Infine specifichiamo che il metallo base è Al 6061-T6.

Riportiamo qui di seguito, molto brevemente, i passaggi essenziali:

$$\sigma_x = \frac{M_b}{I} \cdot y = 235 \text{ MPa} \Rightarrow M_b$$

$$D = D_{est} + 2a$$



$$\sigma'_a = \frac{M_b}{I'} \cdot \frac{D}{2} < \sigma'_{amm} = v \cdot v_2 \cdot \sigma_{amm} = v \cdot v_2 \cdot \frac{\sigma_s}{S_N}$$

da cui si ottiene appunto il risultato sopra anticipato:

spessore cordone -> *a=8mm*

### 4) Progettazione del paraurti in gomma

Il paraurti in gomma è la vera novità del Citybumper: infatti il brevetto del Prof. Bacchi consiste proprio nella sua ideazione. Vediamo brevemente le fasi principali del suo progetto.

Vincoli del progetto in questione: 1- velocità  $v = 24 \text{ km/h}$ ;

2- pressione  $P$  distribuita su un unico cilindro;

ecco i calcoli principali di pertinenza:

$$P = \frac{F'}{\text{Sup.laterale}} = \frac{99450}{673390} = 0.15 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{amm} = \frac{\sigma_{sn} \cdot e}{\eta} = \frac{27 \cdot 1}{2} = 13.5 \text{ N/mm}^2$$

$$s \geq \frac{PD}{2\sigma_{amm}} = \frac{0.15 \cdot 140}{2 \cdot 13.5} = 0.78 \text{ mm}$$

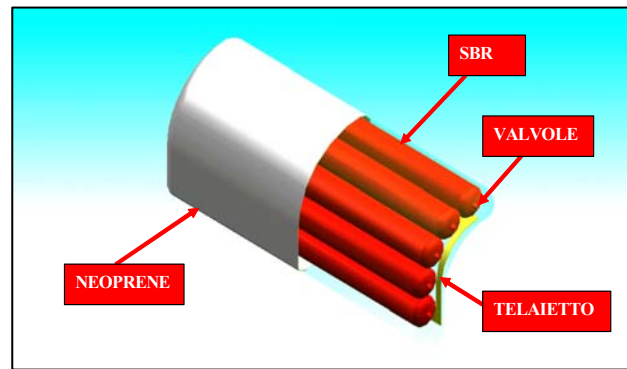
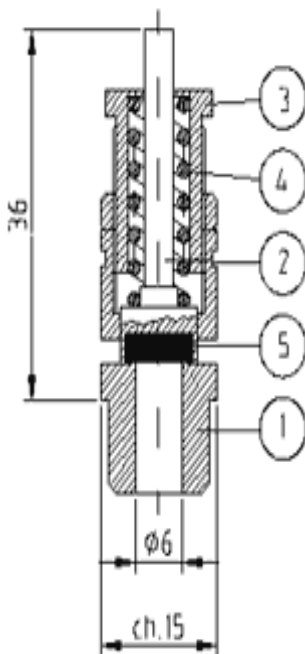


Fig. 24. Schema del montaggio degli shock-absorbers

Per quel che concerne la scelta della valvola, abbiamo preso in considerazione i seguenti dati tecnici:

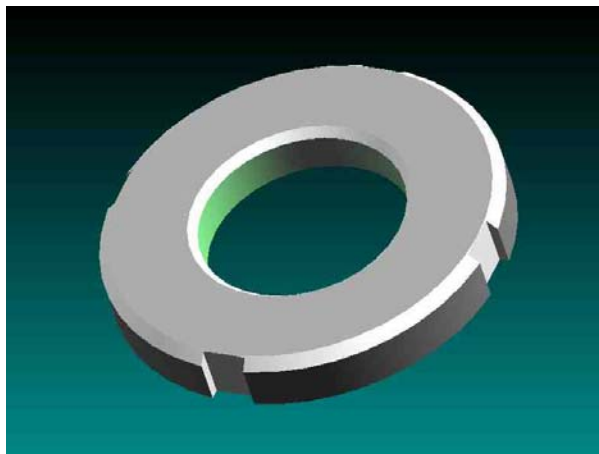


<b>Velocità</b>	<b>6,7m/s</b>
<b>Accelerazione</b>	<b>195m/s<sup>2</sup>=20G</b>
<b>Forza d'urto totale</b>	<b>99450N</b>
<b>Pressione conseguente all'urto su ogni cilindro</b>	<b>0,15 N/mm<sup>2</sup>=150000 N/m<sup>2</sup>=1,5 bar=22psi (pound/square inch)</b>

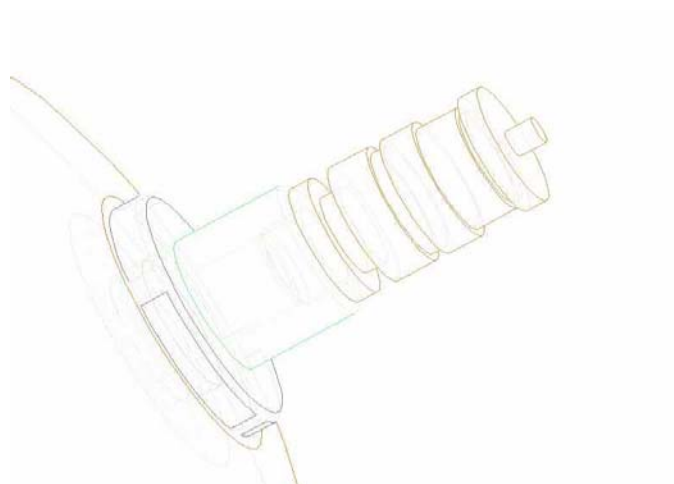
inoltre il montaggio della stessa può essere così schematizzato:



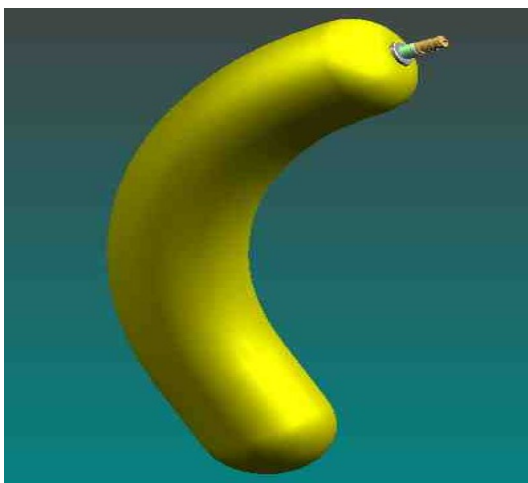
**Fig. 24. Primo componente delle valvola**



**Fig. 25. Secondo componente della valvola**

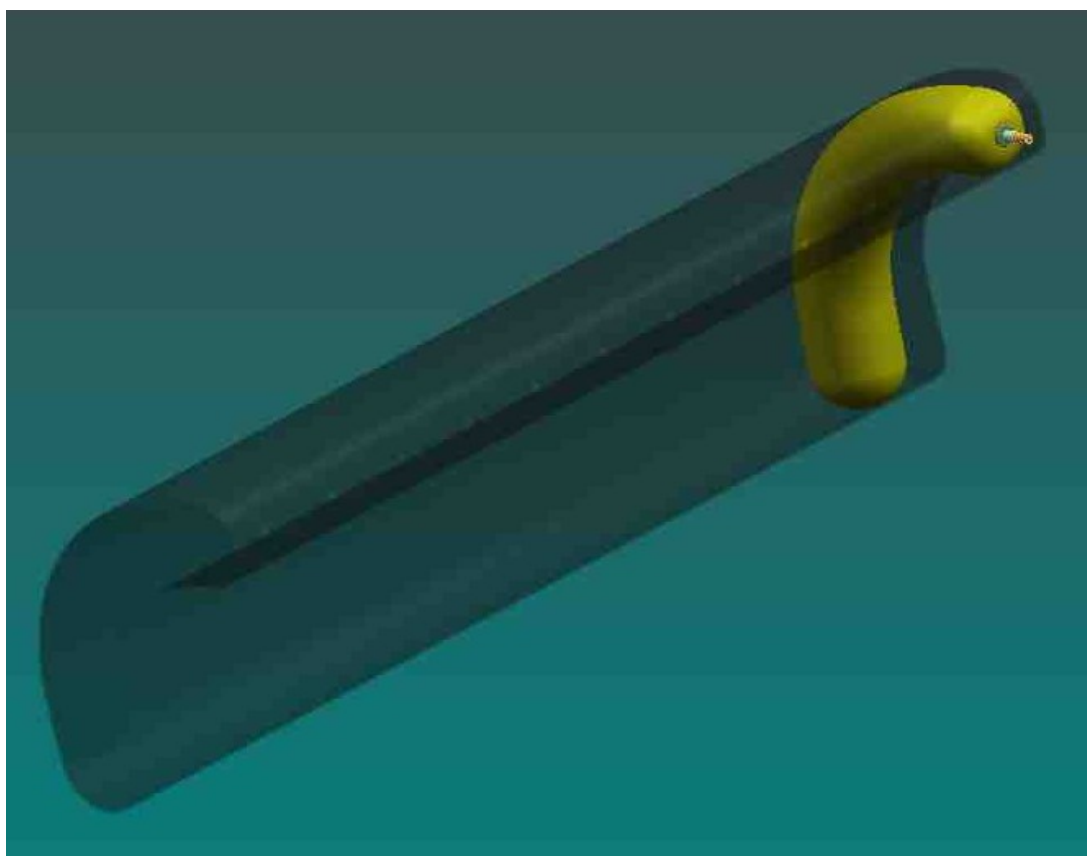


**Fig. 26. Montaggio della valvola**



**Fig.27. Montaggio della valvola sullo shock-absorber**

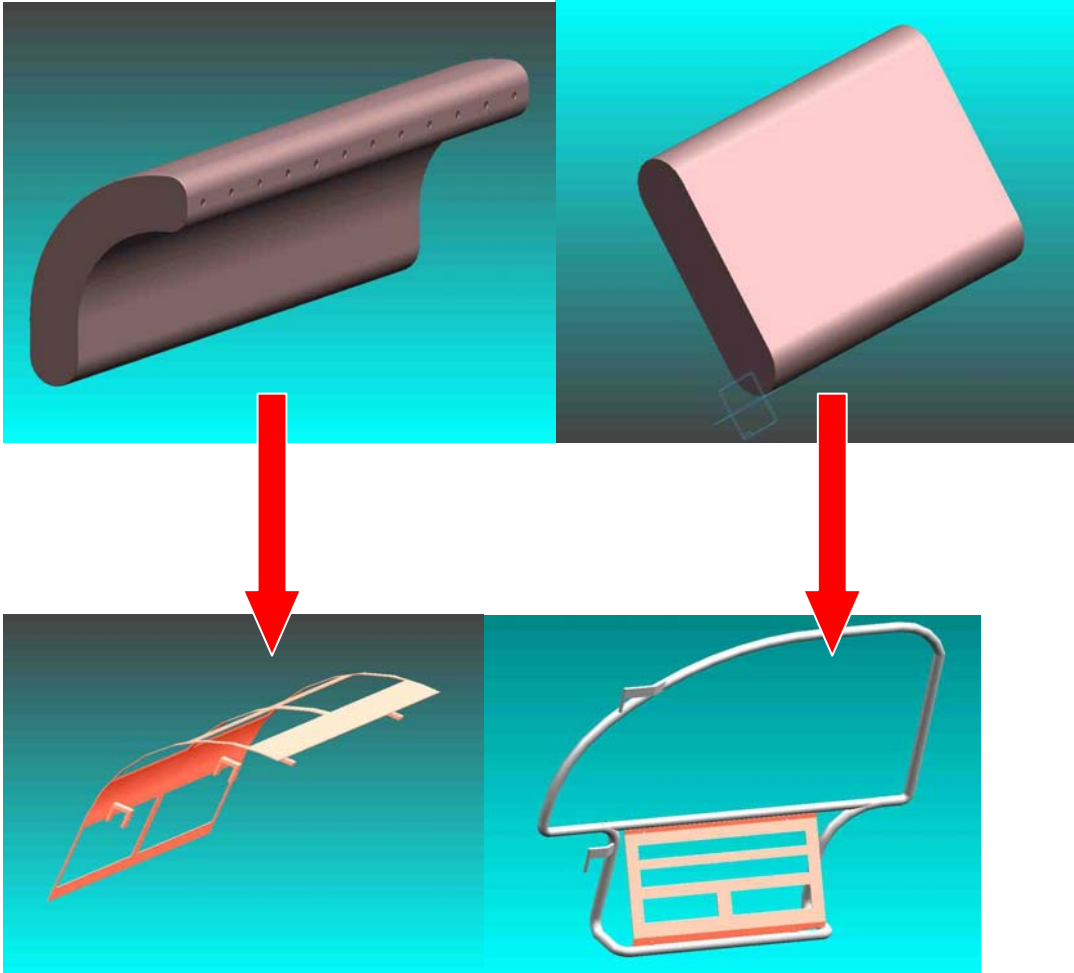
ed infine avremo la seguente configurazione del paraurti:



**Fig. 28. Montaggio degli shock-absorbers sul paraurti, rivestito di neoprene**

### 5) Metodo d'incollaggio del paraurti

Come ultima fase del progetto, abbiamo realizzato i componenti da applicare alla struttura tubolare, dove incollare gli elementi in gomma visti sopra. Qui di seguito possiamo vedere come:





### *1.1.4 La Struttura finale*

Ricapitolando quanto visto sopra, avremo che le caratteristiche fondamentali della vettura progettata dovranno essere le seguenti:

- a) Telaio: Al 6061-T6
  - ✓ Diametro esterno = 56mm
  - ✓ Spessore radiale = 8mm
- b) Paraurti: SBR
  - ✓ Diametro esterno = 140mm
  - ✓ Spessore radiale = 1mm
- c) Saldatura: TIG
  - ✓ Spessore cordone = 8mm

## 1.2 Sintesi del metodo di progettazione per l'estetica, applicato al City Bumper

Il processo di design automobilistico all'interno di un'azienda richiede una serie di passaggi obbligati, affinché il prodotto venga realizzato secondo le specifiche predefinite.

E' necessario dunque impostare una scaletta di operazioni da seguire rigorosamente, al termine delle quali sapremo esattamente come dovrà essere la nostra vettura.

Vediamo allora ciascuna di queste operazioni, cercando di capire bene tutte le fasi del concepimento del prodotto.

I passaggi fondamentali sono: il *Briefing*, la *Ricerca Creativa*, la *Definizione Tridimensionale*, la *Definizione Virtuale*, lo *Studio dell'Aerodinamica e dell'Ingegneria*, la *Modellazione 3D Full Size*, l'*Affinamento Full Size* ed, infine, lo *Styling Freeze*.

### 1.2.1 Il Briefing

Il briefing rappresenta le richieste del cliente; effettuare un briefing, infatti, significa domandarsi: "come deve essere il design della vettura? Quali sono i vincoli essenziali che bisogna rispettare nella sua progettazione?"

Il briefing può essere di due tipi:

1. *di prodotto*: si occupa di tutte le informazioni, oggettive ed astratte, che bisogna raccogliere per poi elaborare l'autovettura (che cosa essa deve possedere, quali sensazioni deve suscitare nei potenziali clienti, ...);
2. *tecnico*: riguarda la definizione di determinate specifiche di tipo tecnico-ingegneristico, quali le strutture portanti, il motore oppure l'analisi dei seguenti vincoli:
  - *Elementi tridimensionali*: giro porta, posizione radiatori, posizione ruote, ecc.;
  - *Normative*: è necessario ed obbligatorio seguire tutte le normative che sono state varate dagli enti preposti per la realizzazione dei mezzi di locomozione;
  - *Ergonomia*: è molto importante progettare molto bene anche l'"interfaccia" uomo-macchina, affinché l'approccio alla vettura sia il più semplice e comodo possibile.

Al termine del briefing, che rappresenta, come abbiamo visto, una vera e propria chiarificazione del compito, dovremo procedere seguendo due percorsi paralleli (l'uno non esclude l'altro): uno comprendente la *Ricerca Operativa in 2D* e la conseguente *Definizione Tridimensionale in 3D*, l'altro la *Definizione Virtuale*, lo *Studio dell'Aerodinamica e dell'Ingegneria*. Il primo è un percorso di tipo manuale, il secondo, invece, si avvale dell'uso del calcolatore.

### 1.2.2 Ricerca Operativa in 2D

Vengono costituiti alcuni gruppi di lavoro, comprendenti due o più stilisti. Ciascun gruppo porta avanti un progetto riguardante, ovviamente, il design dell'automobile che si vuole realizzare. Tale progetto deve essere costituito da tre disegni della vettura: una vista frontale, una laterale ed una a tre quarti.

Una volta che tutti i lavori vengono presentati, se ne sceglie uno solo o al massimo due o tre, quelli cioè ritenuti più idonei.

(NB: molto spesso accade anche di adottare soluzioni ibride, nelle quali si fa riferimento ad elementi provenienti da progetti diversi).

### *1.2.3 Definizione Tridimensionale*

Subito dopo la ricerca operativa in 2D, è utile “scoprire” come il progetto scelto (o i progetti scelti) risulterebbe in 3 dimensioni. Si costruiscono così dei modellini tridimensionali dei progetti migliori, realizzati in argilla sintetica (*clay*) in scala 1:4. Per motivi economici si fabbrica solo metà modellino, e tale metà verrà poi appoggiata ad uno specchio per offrire un effetto visivo completo.

### *1.2.3' Definizione Virtuale*

Utilizzando opportuni software per il design (Rhino 3D, 3ds max, Alias Autostudio, Opticore, Adobe Suite, Icem Surf, Think Design,...), riusciamo a disegnare le superfici principali del veicolo, ottenendo così il modello virtuale dello stesso, con l'estetica e la forma definitive.

Un'operazione molto importante che si fa in tale fase del procedimento è quella del “*Rendering*”, ovvero si conferisce al disegno su calcolatore un look molto simile a quello di una fotografia, attraverso opportuni programmi: tale operazione è molto utile, in quanto riesce a dare al progettista un'idea molto concreta di come sarà, o meglio, di come potrebbe essere la “sua creatura” su strada.

### *1.2.4 Studio dell'Aerodinamica e dell'Ingegneria*

In tale fase, a partire dal modello 3D realizzato nella definizione virtuale ed analizzando le sue superfici principali, si studia l'aerodinamica, con lo scopo di ottimizzare i consumi e migliorare il confort acustico.

Inoltre si cerca di interpretare l'estetica, ottenuta anche secondo un'ottica ingegneristica, cioè si deve verificare se le soluzioni stilistiche adottate coincidono o meno con quelle funzionali.

A questo punto la prima parte del lavoro è ultimata e si passa così alla seconda fase, costituita dalla *Modellazione 3D Full Size*, dall'*Affinamento Full Scale* e dallo *Styling Freeze*.

### *1.2.5 Modellazione 3D Full Size*

Questa operazione consiste nella realizzazione di un modello della vettura in scala 1:1 tramite fresatura (si utilizzano fresatrici particolari, per modelli). Dopo di che, quest'ultimo verrà migliorato e rifinito addobbandolo con decorazioni raffiguranti fanali, finestrini, ruote, ecc., in maniera da dare l'impressione di essere una vera e propria automobile.

Tutto ciò servirà al designer a capire se le proporzioni tra le parti del veicolo, da lui disegnato, sono effettivamente quelle desiderate e se l'impatto visivo del mezzo che sta nascendo risulta essere di buon effetto.

### 1.2.6 Affinamento Full Scale

A questo punto inizia una serie di modifiche mirate ad affinare il modello precedentemente ottenuto, con lo scopo di portare avanti un progressivo miglioramento di ogni dettaglio. In pratica, ci si impegna a conferire alla vettura caratteristiche di totale realizzabilità.

Tutte le modifiche vengono effettuate manualmente e subito dopo vengono scansionate (o meglio, digitalizzate) da un'opportuna apparecchiatura ottica che automaticamente le inserisce nel calcolatore, aggiornando il modello iniziale.

### 1.2.7 Styling Freeze

Giunti a tale punto, ci troviamo nella fase di *styling freeze*, che in italiano significa *congelamento dello stile*; tale terminologia sta ad indicare quel momento in cui lo stile e l'estetica della vettura non vengono più cambiati. Tutte le modifiche che avverranno d'ora in avanti non riguarderanno nel modo più assoluto l'aspetto esteriore dell'automobile.

### 1.2.8 Rendering

Il *rendering* consiste nell'inserire il modellino ottenuto all'interno di un ambiente virtuale, che simuli un possibile spazio esterno dove la vettura potrebbe trovarsi.

Questa è una fase molto importante, in quanto ci dà la conferma definitiva se abbiamo svolto o meno un buon lavoro.

## 1.3. Realizzazione dei disegni: bozzetti e proiezioni ortogonali

In tale capitolo si analizzerà, passo dopo passo, il processo di definizione dell'estetica del City Bumper. Si cercherà di spiegare cioè quale percorso abbiamo deciso di seguire per arrivare a definire la forma definitiva del nostro quadriciclo.

Ovviamente l'idea è stata quella di attenerci il più possibile al procedimento standard citato nel capitolo precedente, anche se tuttavia ci siamo concessi alcune varianti, dovute soprattutto alla mancanza di mezzi tecnologici dei quali le principali aziende di design sono dotate.

Ciò da cui siamo partiti è stata la realizzazione degli schizzi e non il briefing (o chiarificazione del compito), in quanto tale punto è stato già affrontato nel capitolo 7, segnatamente nel paragrafo riguardante il progetto concettuale.

Successivamente si è operata la scelta del modello più adeguato rispetto ad alcuni criteri, seguita dalla realizzazione delle viste laterale e frontale (proiezioni ortogonali) dello stesso.

Infine si è eseguito il disegno al CAD del modello scelto, per poi concludere il lavoro con le operazioni di rendering e di prototipazione.

### 1.3.1 Realizzazione degli schizzi

La realizzazione degli schizzi ha avuto inizio solo dopo una piccola ricerca di mercato, finalizzata all'individuazione degli stili più diffusi nel campo automobilistico.

Tale ricerca ci ha portato alla seguente conclusione: attualmente le principali case automobilistiche non seguono più come un tempo uno "stile-guida": basti ricordare lo *streamline* degli Anni '50-'60, le linee spigolose degli anni '70-'80 oppure le linee morbide e sinuose degli Anni '90.

Tutt'oggi i grandi designer si sentono liberi da ogni schema e realizzano le autovetture proponendo linee e forme di qualsiasi genere. Allora è molto difficile individuare una tendenza predominante, anche se tuttavia siamo riusciti a sintetizzare i principali concetti nei seguenti tre filoni:

- 1) *Stile Retrò*: è quello stile che rievoca antiche forme già impiegate in passato su automobili di grande successo: ad esempio la Mini Cooper, la Volkswagen Maggiolino, la Chrysler PT Cruiser, oppure più recentemente la Lancia Fulvia.
- 2) *Stile Moderno New Edge*: come dice la parola stessa, lo stile new edge riguarda una nuova tipologia di design che ha avuto inizio in seguito alla creazione di alcune automobili Ford, come la Ka e la Focus, e che ha la principale caratteristica di presentare linee moderne ma con spigoli "vivi" in alcune zone (come ad esempio i fanali) molto visibili e caratterizzanti in maniera particolare l'estetica della vettura. Tale modo di disegnare un'auto è stato poi recepito da più di un costruttore (vedi anche la Mazda o la Peugeot), così da essere diventato una vera e propria moda per molti designer.
- 3) *Stile Avveniristico Innovativo*: tale stile riguarda soprattutto vetture mai messe in produzione, ma che più di una volta vengono presentate ai vari Saloni dell'Automobile in giro per il mondo. Lo scopo principale del realizzare vetture con tali forme è sia quello di proporre ai designer forme e tendenze completamente nuove, sia quello di abituare il mercato (cioè i futuri clienti) a queste ultime.

Ebbene, illustrate le tendenze principali adottate dai designer di tutto il mondo, anche noi abbiamo cercato di proporre per il City Bumper tre forme diverse, relative ai tre concetti qui sopra esposti.

Rispettando così i vincoli costruttivi dedotti dal lavoro illustrato nel capitolo 7, abbiamo realizzato i seguenti tre modellini.

### 1.3.1.1 Lo stile retrò

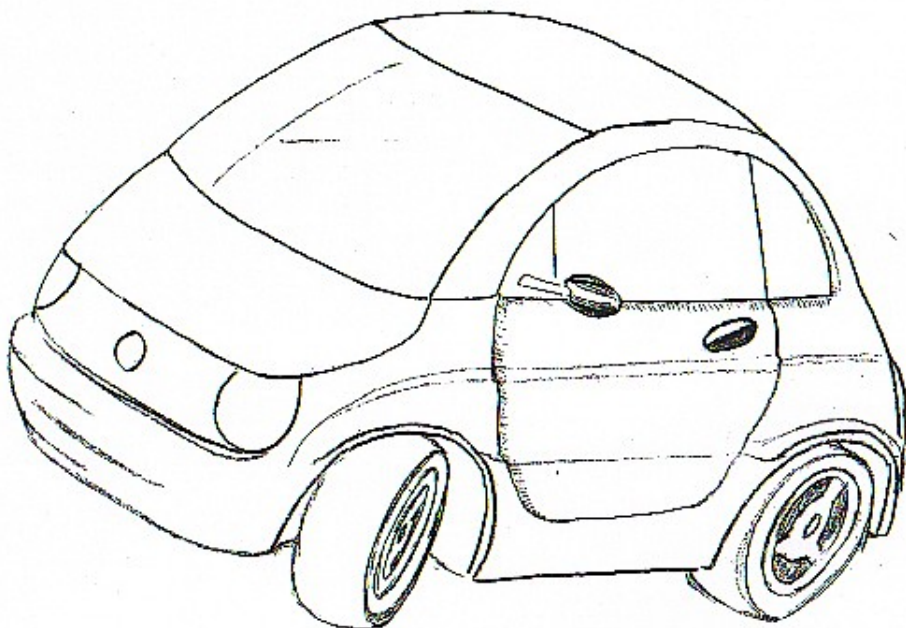
Abbiamo deciso di realizzare un modello del City Bumper in stile retrò, dopo aver visto l'enorme successo di mercato riscosso dalla nuova Mini, prodotta da BMW, dalla New Beetle di Volkswagen e dalla Chrysler PT Cruiser.

Nel nostro caso, si è pensato di riproporre un'altra mitica vettura, che ebbe un grandissimo successo a partire dagli Anni '50 fino agli Anni '90, diventando un vero e proprio simbolo (in modo completamente diverso) di tre generazioni di italiani. Si tratta della 500 FIAT, a tutti nota con il soprannome affettuoso di *Cinquino*.

Si sono perciò realizzati quattro schizzi, due in bianco e nero e due a colori. Tali schizzi, secondo le regole seguite dai principali designer (come visto nel capitolo precedente), descrivono la vettura mostrandola in prospettiva a tre quarti dal davanti e a tre quarti dal di dietro. Da tali schizzi è poi stato possibile risalire alle due proiezioni ortogonali anteriore e laterale.

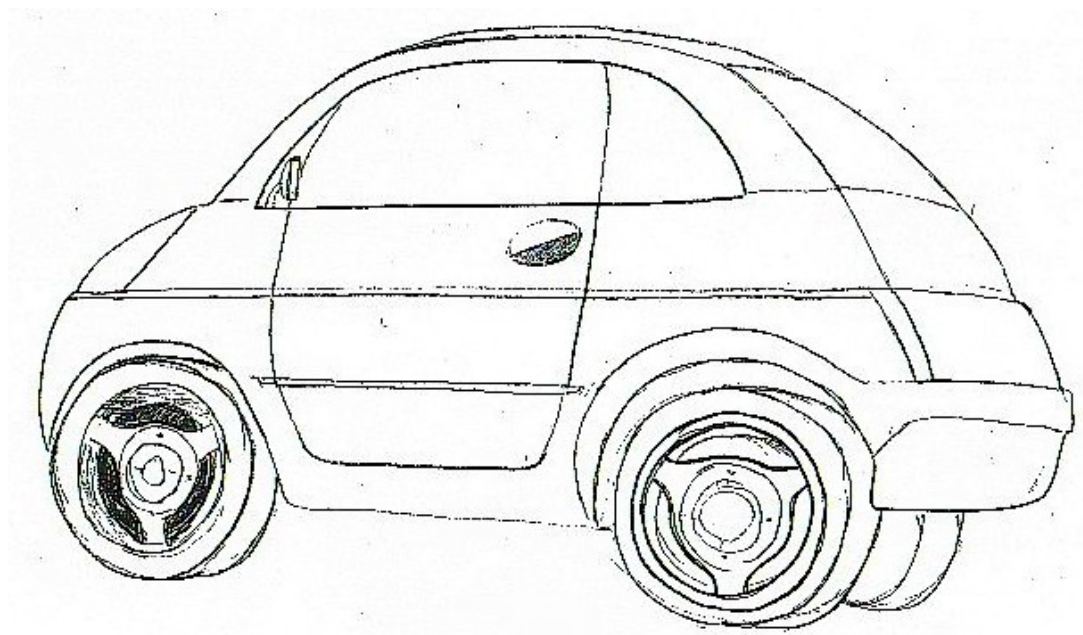
#### 1.3.1.1.1 Gli schizzi del City Bumper retrò

Vista tre quarti anteriore in bianco e nero:



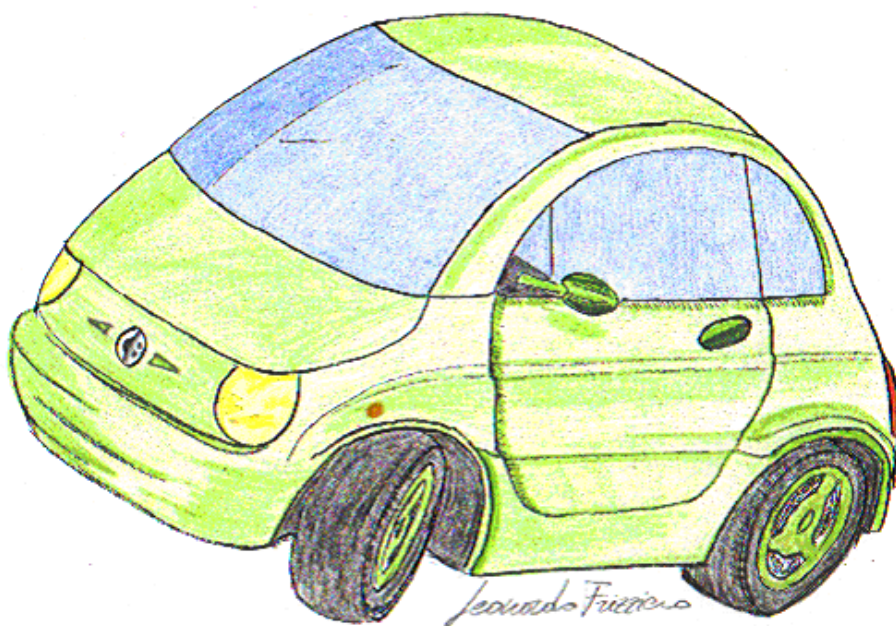
**Figura 12. Modello Retrò: tre quarti davanti**

Vista tre quarti posteriore in bianco e nero:



**Figura 13. Modello Retrò: tre quarti dietro**

Vista tre quarti anteriore a colori:



**Figura 14. Modello Retrò: tre quarti davanti a colori**

Vista tre quarti posteriore a colori:



**Figura 15. Modello Retrò: tre quarti dietro a colori**



### 1.3.1.1.2 La disposizione degli shock-absorber nel City Bumper retrò

Qui di seguito riportiamo l'immagine dello schizzo del City Bumper retrò con le zone, relative ai paraurti ed allo sportello, sezionate affinché possano essere visibili i bumper (o shock absorber).

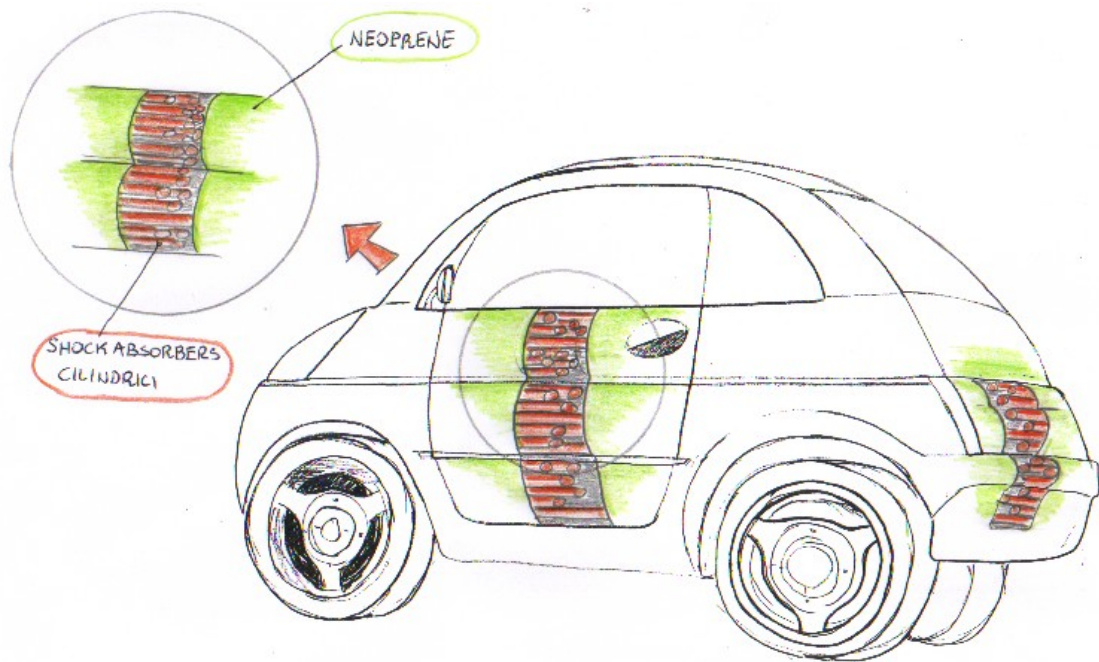
E' importante sottolineare che il materiale della carrozzeria, come già detto nel capitolo 7, non è in metallo, bensì in materiale plastico.

Inoltre bisogna ricordare che la carrozzeria è composta da due strati:

1. lo strato più interno composto proprio dai bumper (o shock absorber appunto);
2. lo strato più esterno realizzato in neoprene, materiale plastico molto resistente (è il materiale con cui vengono realizzate le mute dei sub).

Ebbene, nella figura qui sotto, si può notare come questi due strati siano stati disposti sul City Bumper retrò.

Inoltre viene messo in evidenza nell' ingrandimento in alto a sinistra quanto sia fitta la disposizione degli shock absorber al di sotto dello strato superficiale di neoprene.



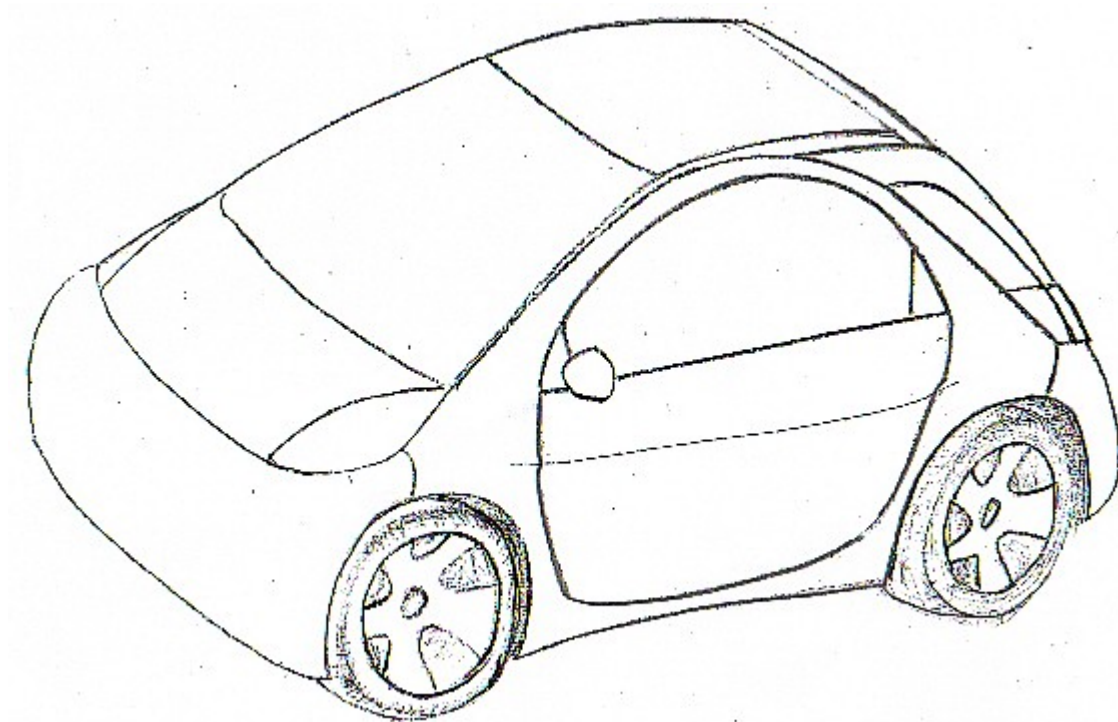
**Figura 16. Modello Retrò: montaggio bumper**

### *1.3.1.2 Lo stile moderno New Edge*

Lo stile moderno New Edge è oggi una delle principali tendenze in fatto di realizzazione dell'estetica di una vettura. Ad essa ci siamo ispirati per realizzare il secondo modellino del City Bumper, visto anche il grandissimo successo riscontrato da una vettura come la Ford Ka, illustre portabandiera del presente stile.

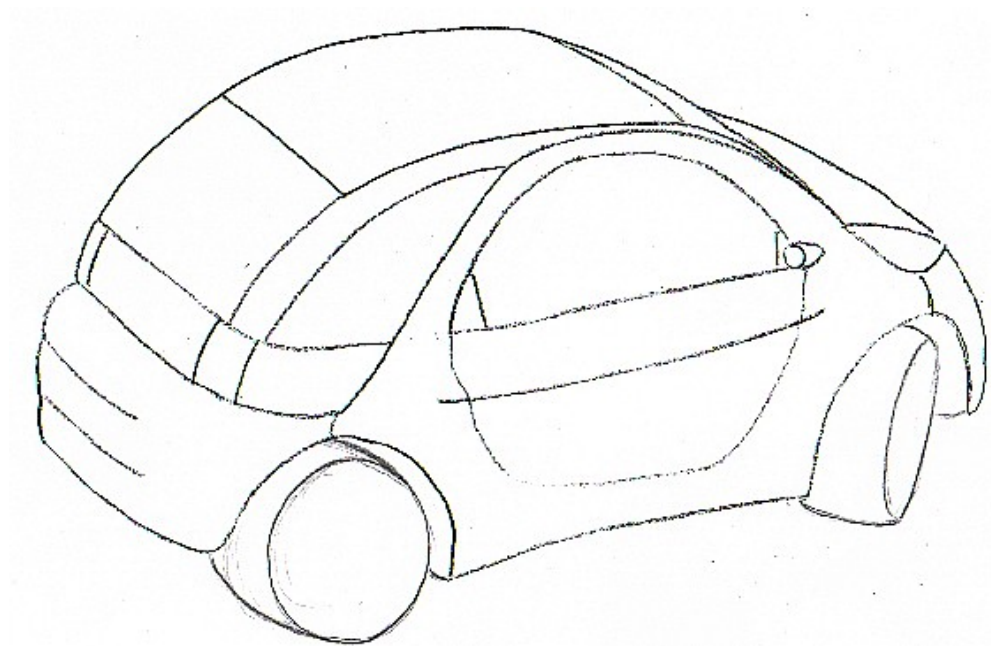
#### *1.3.1.2.1 Gli schizzi del City Bumper New Edge*

Vista tre quarti anteriore in bianco e nero:



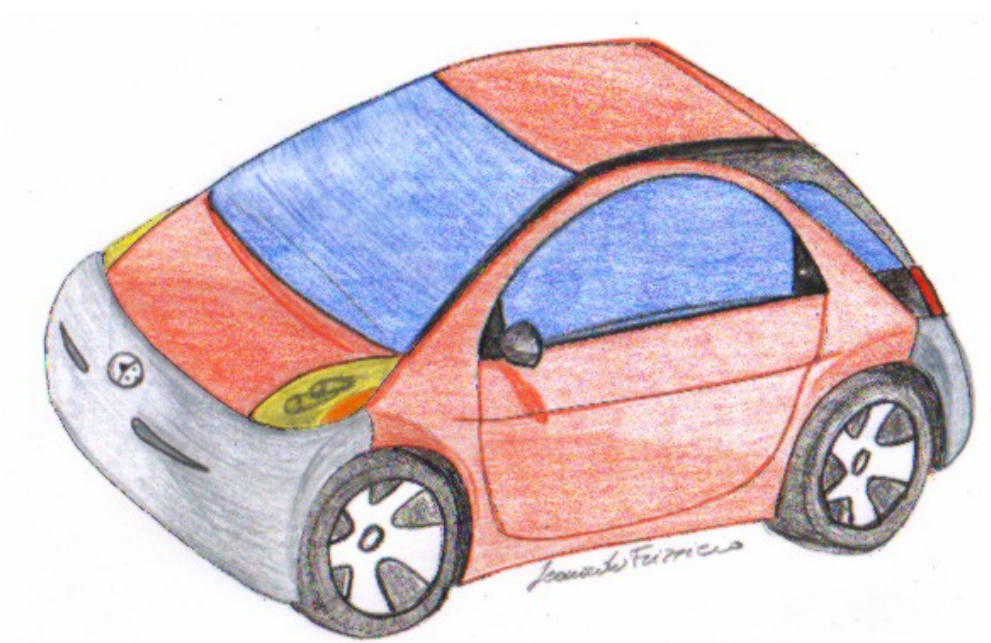
**Figura 17. Modello New Edge: tre quarti davanti**

Vista tre quarti posteriore in bianco e nero:



**Figura 18. Modello New Edge: tre quarti dietro**

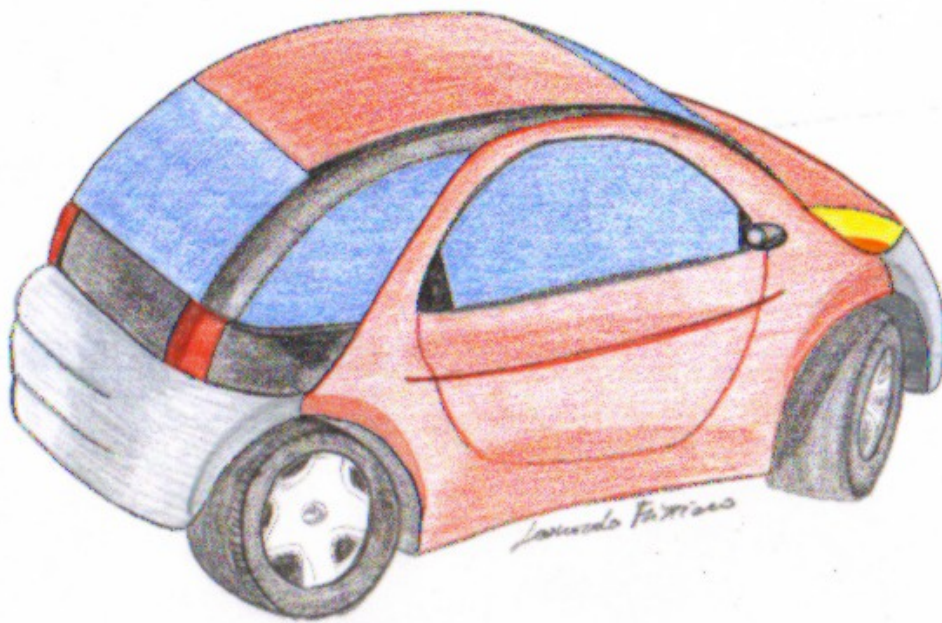
Vista tre quarti anteriore a colori:



**Figura 19. Modello New Edge: tre quarti davanti a colori**

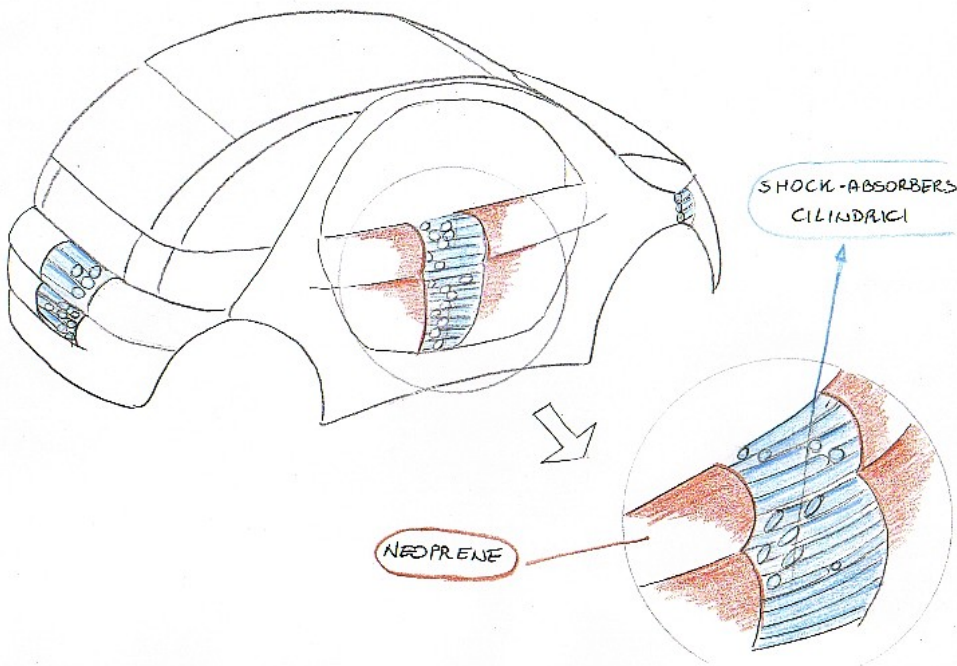


Vista tre quarti posteriore a colori:



**Figura 20. Modello New Edge: tre quarti dietro a colori**

#### *1.3.1.2.2 La disposizione degli shock-absorber nel City Bumper New Edge*



**Figura 21. Modello New Edge: montaggio dei bumper**

### 1.3.1.3 Lo stile avveniristico innovativo

Come detto in precedenza, tale forma di stile viene raramente usata per realizzare vetture destinate alla commercializzazione, bensì la si può ritrovare nella creazione di prototipi destinati all'esposizione nei saloni internazionali dell'automobile.

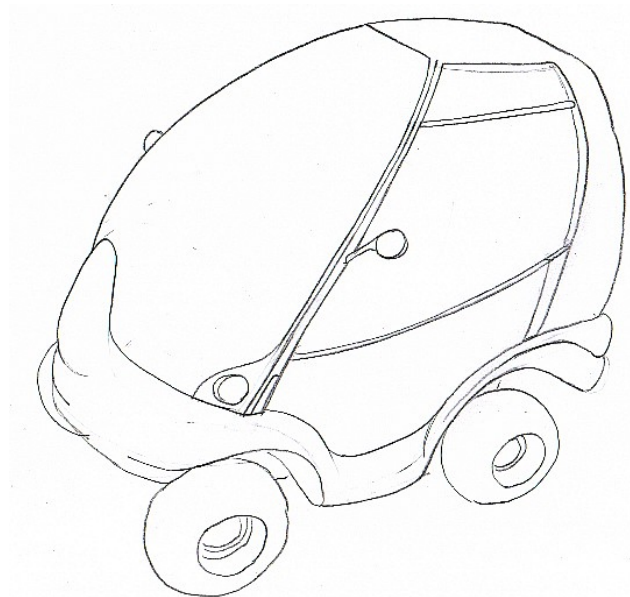
Tuttavia, tale impostazione delle forme risulta essere molto importante soprattutto per due aspetti:

- 1) serve a stimolare in tutti gli addetti ai lavori la voglia di cambiamento, di innovazione delle linee, proponendo nuove mode e nuove tendenze;
- 2) abitua i futuri nuovi clienti ai nuovi stili ed alle nuove tendenze che l'estetica nell'ambito automobilistico si proporrà di realizzare.

Vediamo quindi come abbiamo interpretato il City Bumper secondo questa nuova filosofia di pensiero.

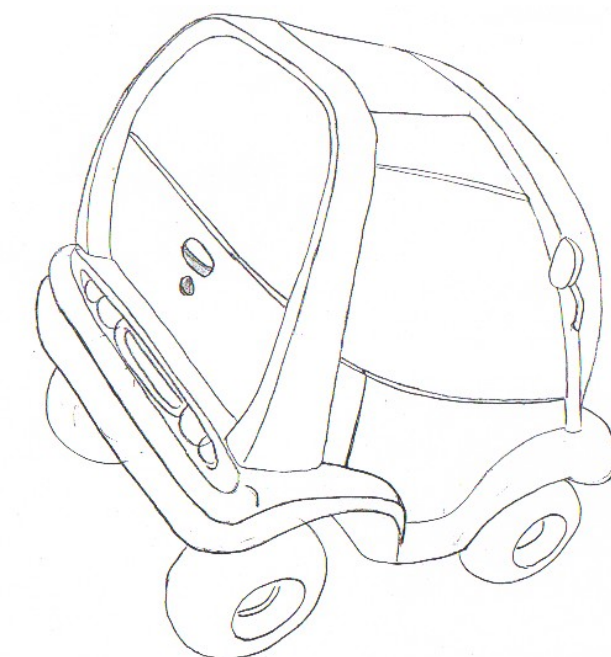
#### 1.3.1.3.1 Gli schizzi del City Bumper avveniristico

Vista tre quarti anteriore in bianco e nero:



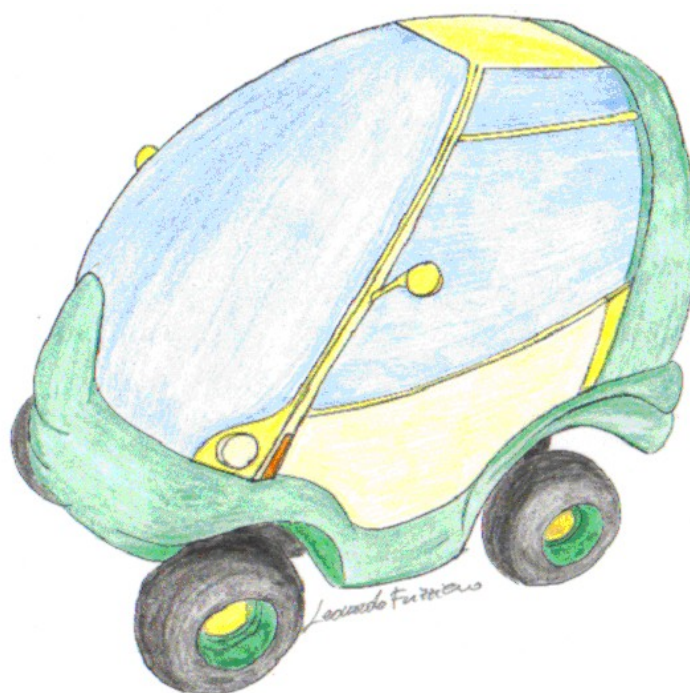
**Figura 22. Modello Avveniristico: tre quarti davanti**

Vista tre quarti posteriore in bianco e nero:



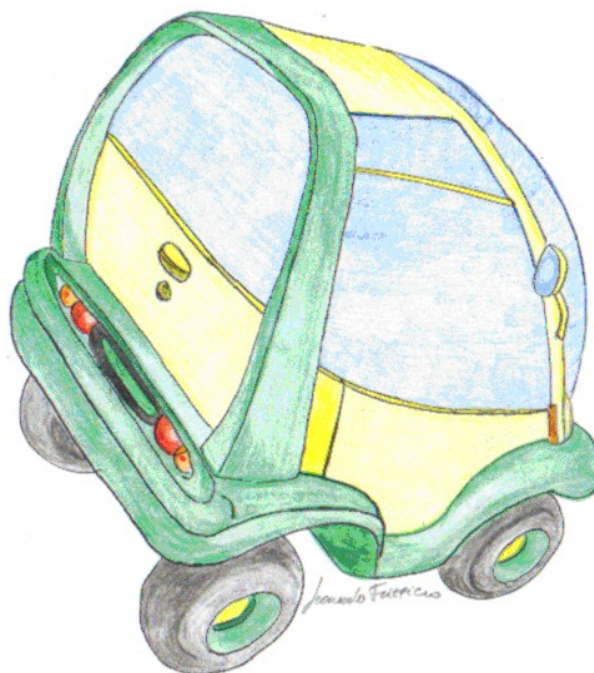
**Figura 23. Modello Avveniristico: tre quarti dietro**

Vista tre quarti anteriore a colori:



**Figura 24. Modello Avveniristico: tre quarti davanti a colori**

Vista tre quarti posteriore a colori:



**Figura 25. Modello Avveniristico: tre quarti dietro posteriore**



### 1.3.1.3.2 La disposizione degli shock absorber nel City Bumper Avveniristico

A differenza dei due casi precedenti, la disposizione degli shock absorber nel City Bumper avveniristico avviene in maniera completamente diversa.

Infatti se nel modello retrò e nel modello new edge i bumper venivano collocati direttamente all'interno dei paraurti e degli sportelli, nel modello avveniristico ciò non accade più.

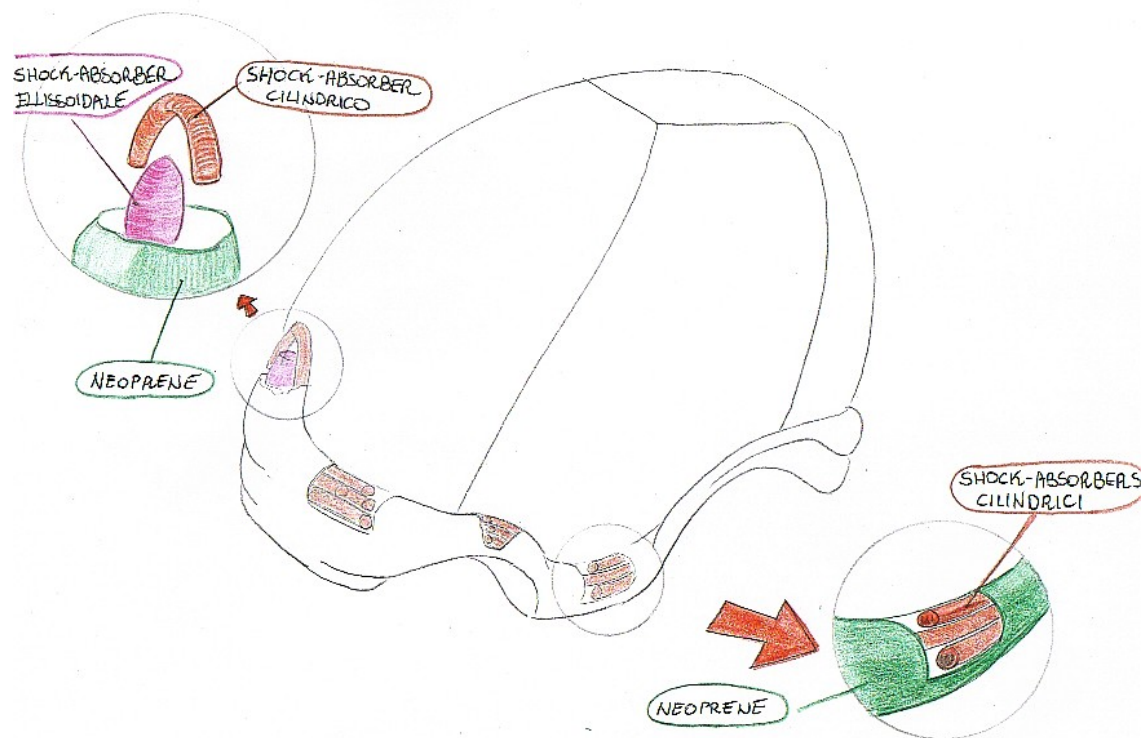
Si può facilmente constatare che gli sportelli non contengono alcuno shock absorber, né esiste in tale configurazione del City Bumper un vero e proprio paraurti di concezione classica.

Osservando i disegni, si può invece notare che la struttura recante i bumpers non è altro che una specie di "fascione" rigonfio, proprio come quella che viene utilizzato per la produzione di quei gommoni a motore, che siamo abituati a veder usare nei nostri mari.

Tale fascione, però, a differenza di quello dei canotti, è composto da molti shock absorber, come si può vedere nella figura a pagina seguente.

Un'altra differenza tra tale soluzione e le due precedenti riguarda l'utilizzo di un nuovo tipo di bumper: infatti, mentre nel modello retrò e nel modello new edge i bumper erano tutti cilindrici, nel modello avveniristico oltre ai bumper cilindrici viene utilizzato, per permettere la particolare forma del frontale, un bumper di forma ellissoidale.

Quanto detto finora è sintetizzato nello schizzo sotto.



**Figura 26. Modello Avveniristico: montaggio bumper**



### 1.3.1 Trasposizione in tavola a due viste dei tre modelli

In tale paragrafo verranno espone le tavole di disegno tecnico illustranti le principali viste dei tre modelli appena discussi.

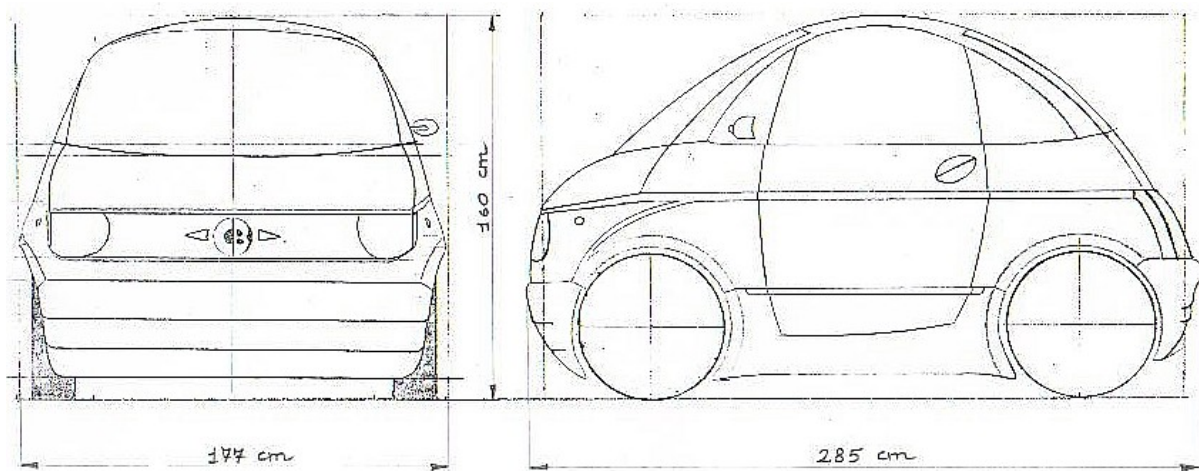
Tali tavole raffigurano, secondo le norme descritte nel capitolo 8, le proiezioni ortogonali della vista frontale e della vista laterale dei tre City Bumper.

Tale operazione serve sia per chiarire al meglio il rapporto tra forme e dimensioni dell'auto, sia per poter avere una traccia più chiara nel momento in cui si procederà alla realizzazione del modello (sia esso al CAD, in legno od in clay).

Infatti il modellista riesce a trovare le giuste proporzioni nella sagoma tridimensionale, solo attraverso uno studio accurato di un disegno tecnico: è dunque molto importante, durante la realizzazione di queste tavole, rispettare non solo le dimensioni, come già detto, ma anche le varie congruenze e coerenze tra una vista e l'altra.

Vediamo nelle pagine che seguono le tre rappresentazioni dei modelli descritti sopra.

#### 1.3.2.1 Proiezioni ortogonali del City Bumper retrò



**Figura 27. Modello Retrò: proiezioni ortogonali**

### 1.3.2.2 Proiezioni ortogonali del City Bumper New Edge

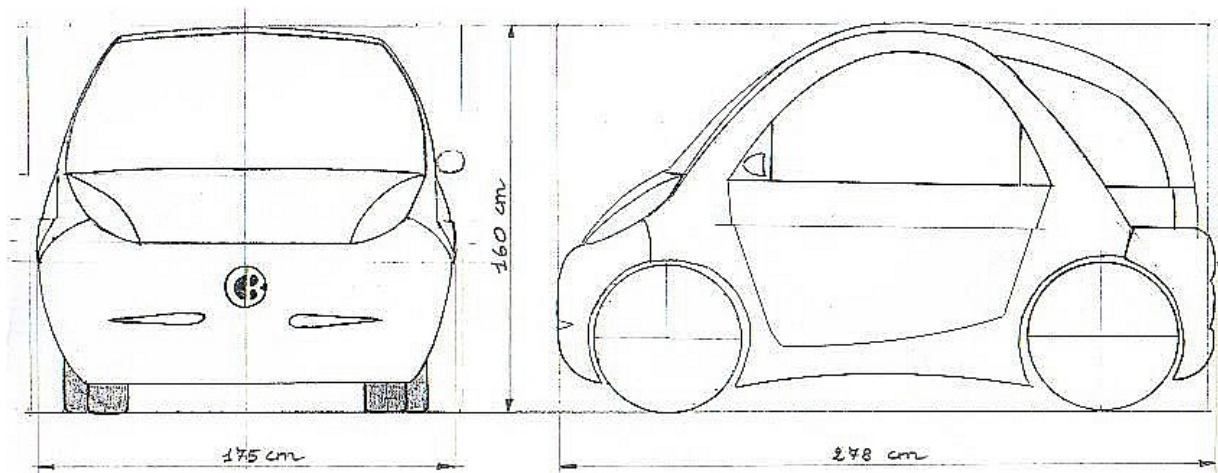


Figura 28. Modello New Edge: proiezioni ortogonali

### 1.3.2.3 Proiezioni ortogonali del City Bumper avveniristico

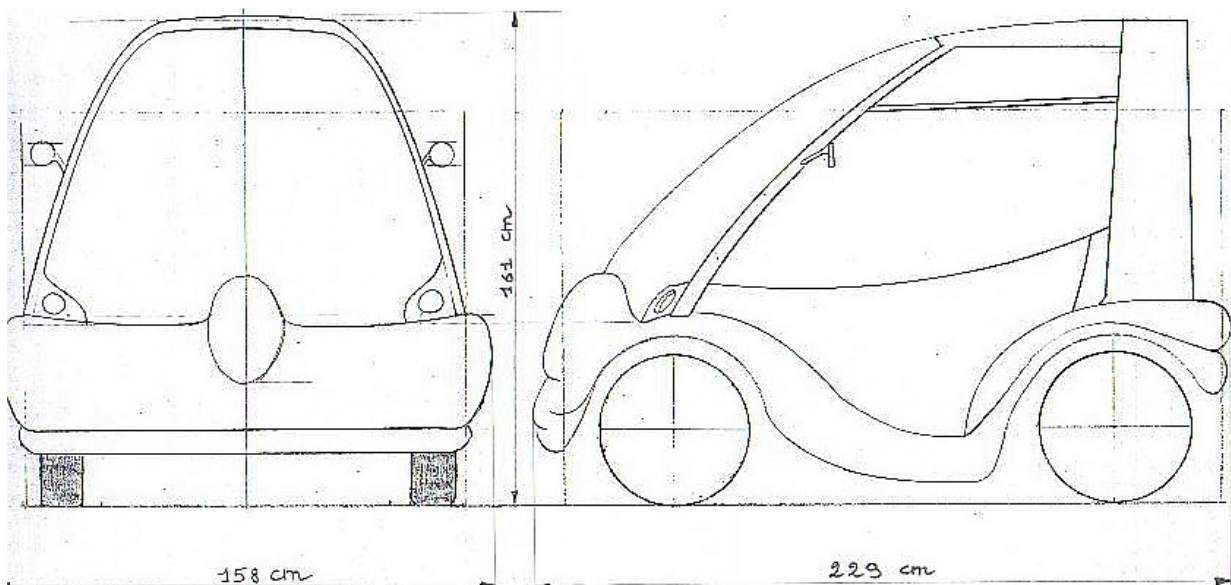


Figura 29. Modello Avveniristico: proiezioni ortogonali

### 1.3.3 Scelta degli schizzi

Come detto nel capitolo 8, definiti i tre schizzi con le relative rappresentazioni in proiezione ortogonale, dobbiamo definire i criteri di scelta di uno dei tre.

Questa fase risulta la più delicata, in quanto essa potrà considerarsi terminata solo quando avremo portato a termine il nostro lavoro.

Infatti, i vari *step* decisionali sono accompagnati da considerazioni molto dettagliate, non basate esclusivamente sul lato estetico della vettura: è errato, cioè, scegliere il disegno più accattivante senza tenere conto delle caratteristiche tecniche ed economiche che lo accompagnano e che esso nasconde.

Dunque possiamo dire che la preferenza per uno o per un altro modello sarà effettuata seguendo due criteri:

- a) ***ottimizzazione della sicurezza***: si sceglierà quel modello sul quale il brevetto descritto nel capitolo 7 viene sfruttato meglio;
- b) ***ottimizzazione dei costi***: si sceglierà quel modello che consentirà al produttore di mantenere i costi più bassi possibile.

Nei prossimi due capitoli procederemo ai calcoli ed alle valutazioni riguardanti gli aspetti qui sopra citati.

## 1.4 Analisi ed ottimizzazioni della sicurezza

In tale capitolo eseguiremo alcune valutazioni di carattere numerico, per stabilire quale soluzione delle tre proposte risulti essere la migliore da un punto di vista tecnico che tenga conto dei seguenti due fattori:

- 1) minor peso
- 2) maggior volume d'aria contenuto e quindi maggiore resistenza agli urti

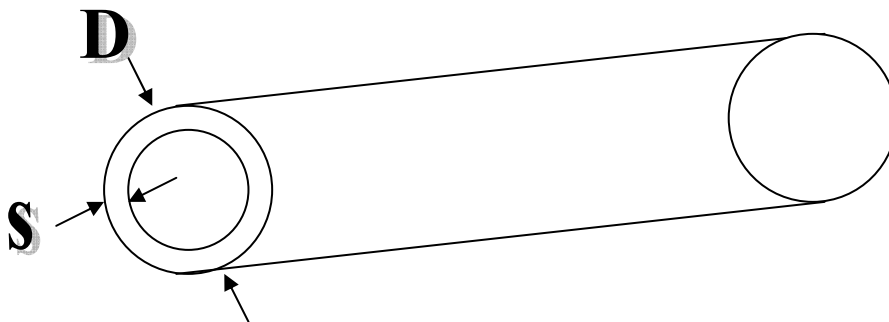
### 1.4.1 Valutazioni numeriche circa il peso dei bumper nelle tre soluzioni

Con la seguente trattazione analizzeremo, a partire dalla geometria delle tre carrozzerie disegnate, quale di loro risulterà la più pesante, in base al maggior numero ed alle maggiori dimensioni dei bumper contenuti. Prima di cominciare, è importante fare una precisazione: mentre i lay-out dei modelli retrò e new edge sono molto simili, poiché in essi possiamo trovare i bumper all'interno dei paraurti anteriore e posteriore e degli sportelli, la disposizione dei bumper nel modello avveniristico risulta invece ben diversa: infatti, come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, la carrozzeria del City Bumper avveniristico è circondata da un fascione continuo contenente i bumper. Questo fatto farà sì che, per il terzo modello, anche le caratteristiche di resistenza all'urto risulteranno un po' diverse.

#### 1.4.1.a Caratteristiche costruttive dei bumper normalizzati

Definiamo bumper normalizzati quegli shock absorber dotati delle seguenti caratteristiche costruttive (quei bumper cioè già descritti e definiti nel capitolo 7):

diametro	$D = 140 \text{ mm}$
spessore	$s = 1 \text{ mm}$
tensione di snervamento	$\sigma_{sn} = 27 \text{ N/mm}^2$
materiale (plastico)	SBR
densità SBR	$\rho_{SBR} = 150 \text{ kg/m}^3$
area sezione completa	$A_c = (\pi \times D^2)/4 = 154 \text{ cm}^2$
area sezione forata	$A_f = \pi \times [D^2 - (D - s)^2]/4 = 2.2 \text{ cm}^2$
La lunghezza è variabile, a seconda della geometria del vano in cui è inserita, da 63.33 a 240 cm.	



### 1.4.1.b Modello New Edge

Consideriamo prima lo sportello, poi i paraurti anteriore e posteriore.

1) Lo sportello:

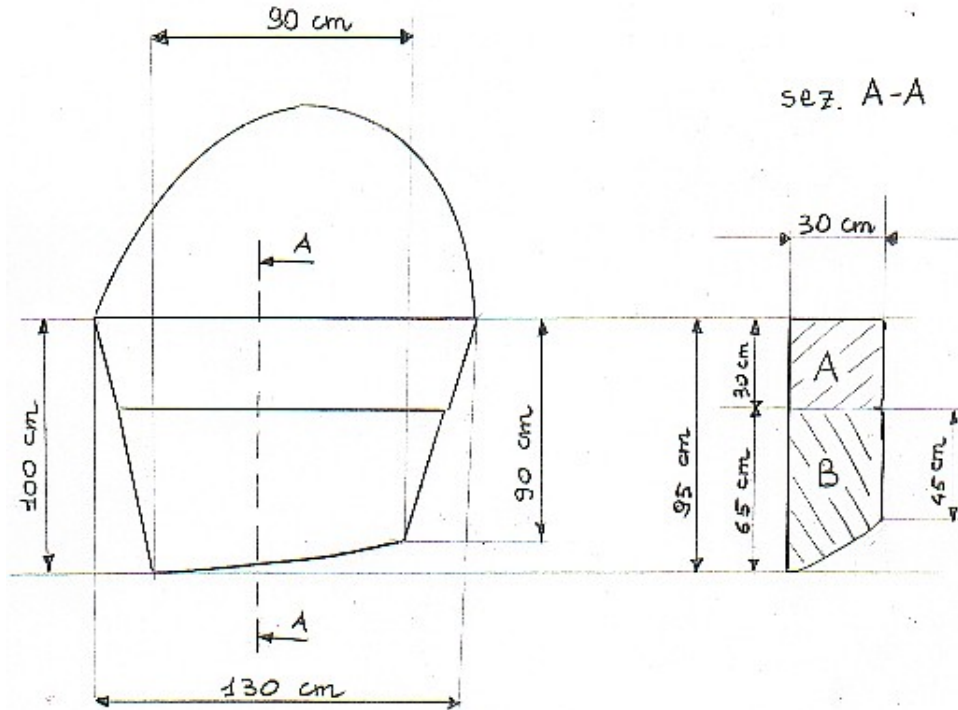


Figura 30. Modello New Edge: lo sportello

A partire dal disegno e dalle dimensioni su di esso indicate, possiamo calcolare l'area della sezione media A-A indicata in figura e da essa risalire al numero di bumper contenibili dallo sportello.

Procediamo calcolando prima l'area della sezione A, ipotizzata quadrata, poi della sezione B, ipotizzata trapezoidale:

1) sez.A:

$$\text{Area sez.A} = (30 \times 30) \text{ cm}^2 = 900 \text{ cm}^2$$

2) sez.B:

$$\text{Area sez.B} = [(45+65) \times 30]/2 = 1650 \text{ cm}^2$$

A questo punto possiamo trovare, dalla somma delle due sezioni A e B calcolate, la sezione totale:

$$\text{Area totale}_{(A+B)} = (900 + 1650) \text{ cm}^2 = 2550 \text{ cm}^2$$

Tale area rappresenta la sezione media dello sportello: quindi, dividendola per la sezione già calcolata di un bumper, otterremo il numero di bumper contenuti dallo sportello stesso:

$$\text{Numero di bumper contenuti}_{(A+B)} = 2550/154 = 16.56 \text{ e quindi } \mathbf{17}.$$

## 2) I paraurti anteriore e posteriore:

Prima di procedere con i conti è stata necessaria un'ipotesi: per semplificare il procedimento, si è considerata la geometria dei due paraurti anteriore e posteriore molto simile; in tal modo abbiamo calcolato una sola volta il numero di bumper contenuti, ritenendolo quindi identico nei due casi.

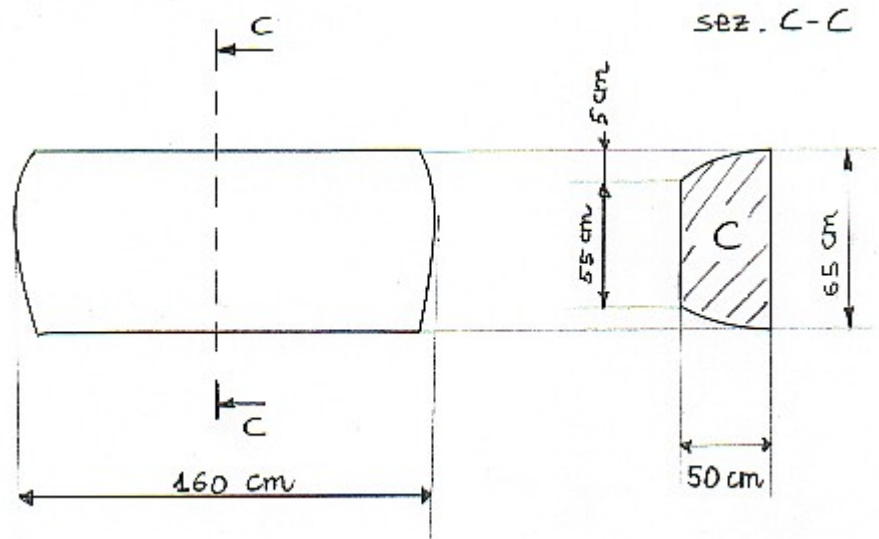


Figura 31. Modello New Edge: paraurti anteriore e posteriore

Dalla figura è possibile calcolare l'area della sezione C, considerata per ipotesi un trapezio isoscele:

$$\text{Area sez. C} = [(65 + 55) \times 50] / 2 = 3000 \text{ cm}^2$$

Da cui il numero di bumper contenuti:

$$\text{Numero di bumper contenuti}_{(C)} = 3000 / 154 = 19.5 \text{ da cui } \mathbf{20}.$$

## 3) Il volume effettivo dei bumper ed il loro peso:

Considerando per lo sportello una lunghezza media pari a 105 cm e per i paraurti una lunghezza media pari a 160 cm, avremo che il volume effettivo di un bumper sarà, per i laterali e per i frontali:

$$\text{Volume bumper laterale} = (2.2 \times 105) \text{ cm}^3 = 231 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume bumper frontale} = (2.2 \times 160) \text{ cm}^3 = 352 \text{ cm}^3$$

Poiché il numero dei bumper è per quelli:

$$\text{laterali: } N^{\circ} \text{ bumper} = 17 \times 2 = 34$$

$$\text{frontali: } N^{\circ} \text{ bumper} = 20 \times 2 = 40$$

avremo che il volume complessivo di SBR, materiale di cui sono composti i bumper, è pari a:

$$\begin{aligned}\text{Volume complessivo di SBR} &= (231 \times 34 + 352 \times 40) \text{ cm}^3 = \\ &= 21943 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Si può così calcolare il peso dei bumper nella vettura new edge, conoscendo la densità dell' SBR, che è pari a 150 kg/m<sup>3</sup>.

La massa complessiva di SBR sarà dunque pari a:

$$\begin{aligned}\text{Massa totale SBR} &= \text{Volume complessivo SBR} \times \text{Densità SBR} = \\ &= 3.290 \text{ kg}\end{aligned}$$

Da cui otterremo che:

$$\text{Peso SBR new edge} = \text{Massa totale SBR} \times 9.81 = \mathbf{32 \text{ kp}}$$

### 1.4.1.c Modello Retrò

#### 1) Lo sportello:

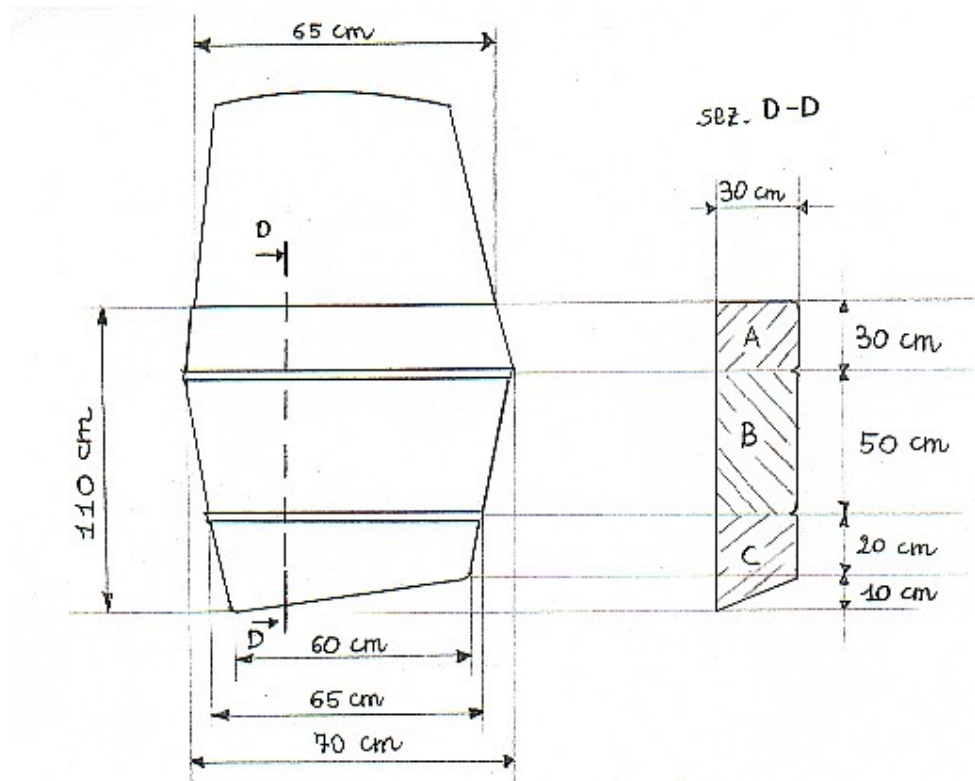


Figura 32. Modello Retrò: lo sportello

Calcoliamo la sezione D-D come somma delle tre sezioni A, B, C, approssimate rispettivamente ad un quadrato, ad un rettangolo ed ad un trapezio.

$$\begin{aligned}\text{Area sez. A} &= (30 \times 30) \text{ cm}^2 = 900 \text{ cm}^2 \\ \text{Area sez. B} &= (30 \times 50) \text{ cm}^2 = 1500 \text{ cm}^2 \\ \text{Area sez. C} &= [(30 + 20) \times 30] / 2 = 750 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Da cui otteniamo il valore dell'area della sezione totale:

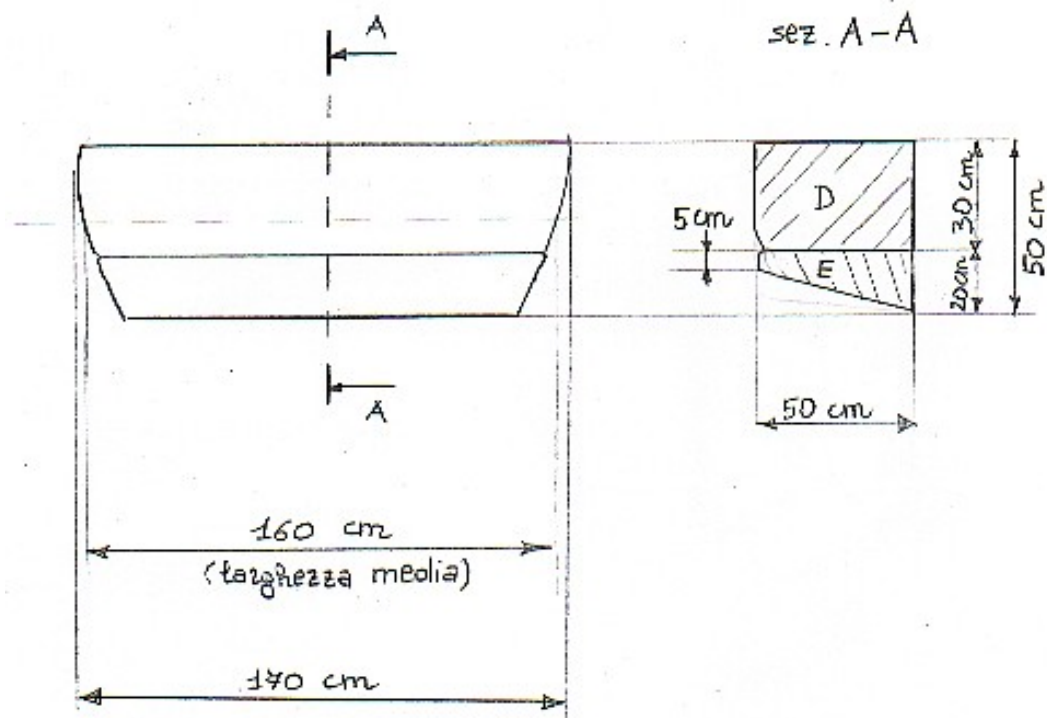
$$\text{Area totale}_{(A+B+C)} = \text{Area sez. A} + \text{Area sez. B} + \text{Area sez. C} = 3150 \text{ cm}^2$$

Possiamo quindi risalire al numero di bumper contenuto nella sezione dello sportello dell'auto retrò:

$$\text{Numero di bumper contenuti}_{(A+B+C)} = 3150 / 154 = 20.45, \text{ da cui } \mathbf{21}.$$



## 2) Il paraurti anteriore:



**Figura 33. Modello Retrò: il paraurti anteriore**

Nel calcolo dell'area della sezione media del paraurti, abbiamo considerato la stessa come composizione di una sezione rettangolare D e di una sezione trapezoidale E:

$$\text{Area sez. D} = (50 \times 30) \text{ cm}^2 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area sez. E} = [(20 + 5) \times 50] / 2 = 625 \text{ cm}^2$$

Da cui l'area totale della sezione media del paraurti anteriore del modello retrò:

$$\text{Area totale(D+E)} = (1500 + 625) \text{ cm}^2 = 2125 \text{ cm}^2$$

A questo punto è possibile determinare il numero Massimo di bumper inseribili all'interno del nostro paraurti:

$$\text{Numero di bumper contenuti(D+E)} = 2125 / 154 = 13.8, \text{ da cui } \mathbf{14}.$$

### 3) Il paraurti posteriore:

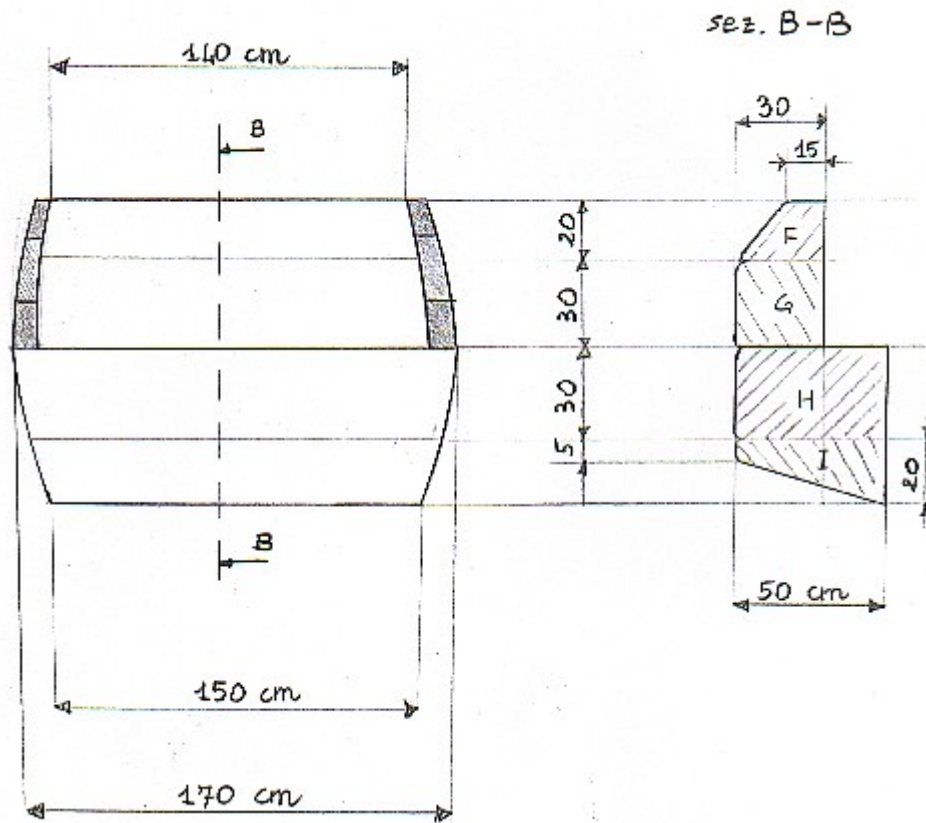


Figura 34. Modello Retrò: il paraurti posteriore

Come si evince dalla figura sopra, la zona posteriore riempita dai bumper non si limita al solo paraurti, bensì anche a quella parte di carrozzeria compresa tra i fanali sul retro della vettura. Sarà così necessario il calcolo dell'area di questa sezione aggiuntiva, avendo considerato la sezione media del paraurti posteriore identica a quella del paraurti anteriore; quindi osservando la figura possiamo scrivere:

$$\begin{aligned} \text{Area sez. H} &= \text{Area sez. D} = 1500 \text{ cm}^2 \\ \text{Area sez. I} &= \text{Area sez. E} = 625 \text{ cm}^2 \\ \text{Area sez. F} &= [(15 + 30) \times 20] / 2 = 450 \text{ cm}^2 \\ \text{Area sez. G} &= (30 \times 30) \text{ cm}^2 = 900 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Da qui otteniamo l'area totale della zona aggiuntiva (F+G):

$$\text{Area totale}_{(F+G)} = \text{Area sez. F} + \text{Area sez. G} = 1350 \text{ cm}^2$$

A questo punto possiamo calcolare il numero di bumper contenuti in questa zona aggiuntiva, che, è importante sottolineare, presenta una larghezza media inferiore a quella del paraurti posteriore vero e proprio (lo si nota anche dalla figura sopra):

$$\text{Numero di bumper contenuti}_{(F+G)} = 1350 / 154 = 8.77, \text{ da cui } 9.$$

#### 4) Il volume effettivo dei bumper ed il loro peso:

In tal caso abbiamo considerato una lunghezza media dello sportello pari a  $63.33\text{ cm}$ , una larghezza media dei paraurti anteriore e posteriore pari a  $160\text{ cm}$  ed una larghezza media della zona aggiuntiva, compresa tra i due fanali posteriori pari a  $144\text{ cm}$ ; tutto ciò ci ha portato ai seguenti risultati:

$$\text{Volume bumper laterale} = (2.2 \times 63.33) \text{ cm}^3 = 139 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume bumper paraurti} = (2.2 \times 160) \text{ cm}^3 = 352 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume bumper zona aggiuntiva posteriore} = (2.2 \times 144) \text{ cm}^3 = 316.8 \text{ cm}^3$$

Poiché il numero di bumper nella varie zone è il seguente:

$$\text{Numero bumper laterali} = 21 \times 2 = 42$$

$$\text{Numero bumper paraurti} = 14 \times 2 = 28$$

$$\text{Numero bumper zona aggiuntiva} = 9$$

avremo che il volume totale di SBR dei bumper nel modello retrò sarà il seguente:

$$\text{Volume complessivo di SBR} = (139 \times 42 + 352 \times 28 + 316.8 \times 9) \text{ cm}^3 = 18545.2 \text{ cm}^3$$

Da cui possiamo calcolare la massa totale di SBR:

$$\begin{aligned} \text{Massa totale SBR} &= \text{Volume complessivo SBR} \times \text{Densità SBR} = \\ &= 2.78 \text{ kg} \end{aligned}$$

E quindi il peso di tutto l'SBR utilizzato nel modello retrò sarà pari a:

$$\text{Peso SBR retrò} = \text{Massa totale SBR} \times 9.81 = \mathbf{27\text{ kp}}$$

### 1.4.1.d Modello Avveniristico

#### 1) Zona laterale:

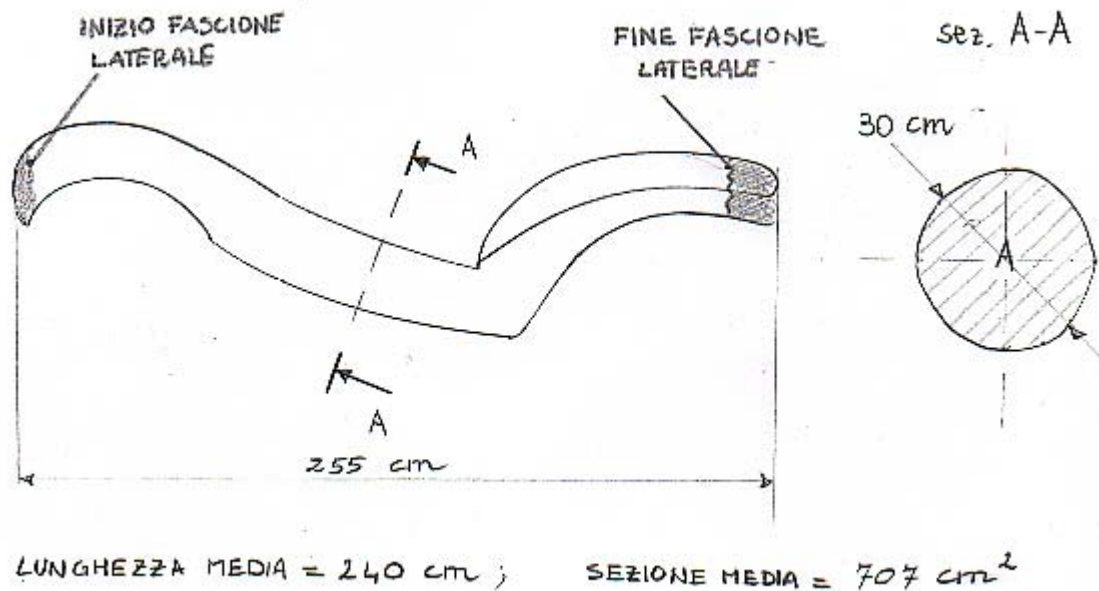


Figura 35. Modello Avveniristico: zona laterale

Nella figura qui sopra abbiamo stilizzato il fascione laterale del City Bumper avveniristico; a causa della sua geometria molto complicata ed elaborata, abbiamo proceduto con i calcoli solo dopo due ipotesi: la prima riguarda l'aver considerato la sezione media del fascione laterale di forma circolare; la seconda, aver supposto una lunghezza media dei bumper, del solo fascione, pari a 240 cm.

Avremo allora che l'area della sezione A in figura sarà pari a:

$$\text{Area sez. A} = (\pi \times 30^2)/4 \text{ cm}^2 = 707 \text{ cm}^2$$

A questo punto si può calcolare immediatamente il numero di bumper contenuti nella sezione A:

$$\text{Numero bumper contenuti}_{(A)} = 707/154 = 4.6, \text{ da cui } 5.$$

## 2) I paraurti anteriore e posteriore:

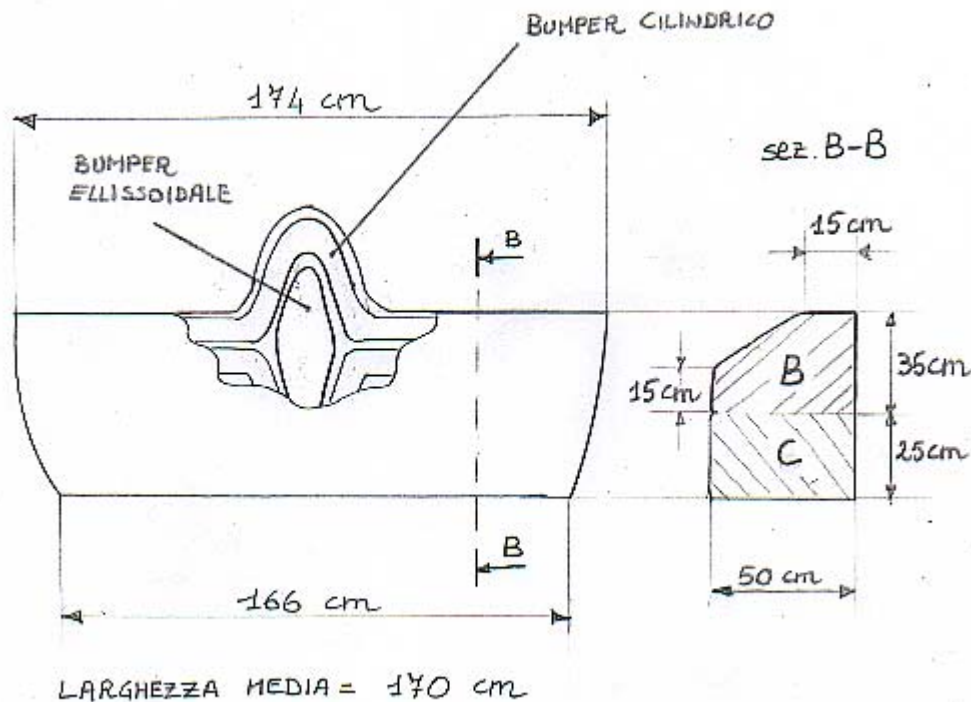


Figura 36. Modello Avveniristico: paraurti

Nella figura qui sopra è rappresentato il paraurti anteriore quotato; si può procedere con i conti, per questo particolare, in maniera analoga alle altre parti già trattate, ma solo dopo aver avanzato altre ipotesi. La prima riguarda un'approssimazione circa la geometria del paraurti stesso: si suppone la forma regolare, prescindendo dalla "protuberanza" presente in mezz'opera: infatti lo spazio occupato dal bumper ellissoidale viene da noi ipotizzato pari a quello, fuoriuscente dalla geometria trapezoidale verso l'alto del paraurti, del bumper cilindrico.

La seconda concerne invece la forma del paraurti posteriore: anche in questo caso, considereremo quest'ultimo uguale al paraurti anteriore, contenente cioè un pari numero di bumper.

Procediamo con i conti, dopo aver osservato attentamente le geometrie delle sezioni B e C:

$$\text{Area sez. B} = (50 \times 35) - [(35 - 15) \times (50 - 15)]/2 \text{ cm}^2 = 1400 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area sez. C} = (25 \times 50) \text{ cm}^2 = 1250 \text{ cm}^2$$

Da cui otteniamo:

$$\text{Area totale}_{(B+C)} = (1400 + 1250) \text{ cm}^2 = 2650 \text{ cm}^2$$

A questo punto è facile ottenere il numero di bumper contenuti:

$$\text{Numero bumper contenuti}_{(B+C)} = 2650/154 = 17$$

### 3) Il numero effettivo dei bumper ed il loro peso:

Come già accennato sopra e come già annotato in figura, la lunghezza media dei bumper contenuti nel fascione laterale è pari a 240 cm e la larghezza media dei bumper contenuti nei paraurti anteriore e posteriore è pari a 170 cm. E' così possibile procedere con i seguenti conti:

$$\text{Volume bumper laterale} = (2.2 \times 240) \text{ cm}^3 = 528 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume bumper frontale} = (2.2 \times 170) \text{ cm}^3 = 374 \text{ cm}^3$$

Il numero totale dei due tipi di bumper sarà il seguente:

$$\text{Numero bumper laterali} = 5 \times 2 = 10$$

$$\text{Numero bumper frontali} = 17 \times 2 = 34$$

Calcoliamo così il volume totale di SBR dei bumper nel City Bumper avveniristico:

$$\text{Volume complessivo SBR} = (528 \times 10 + 374 \times 34) \text{ cm}^3 = 17996 \text{ cm}^3$$

Sapendo poi che:

$$\text{Massa totale SBR} = \text{Volume complessivo SBR} \times \text{Densità SBR} = 2.70 \text{ kg}$$

E' immediato allora trovare il peso corrispondente a tale massa:

$$\text{Peso SBR avveniristico} = \text{Massa totale SBR} \times 9.81 = \mathbf{26 \text{ kp}}$$

### 1.4.1.e Conclusioni

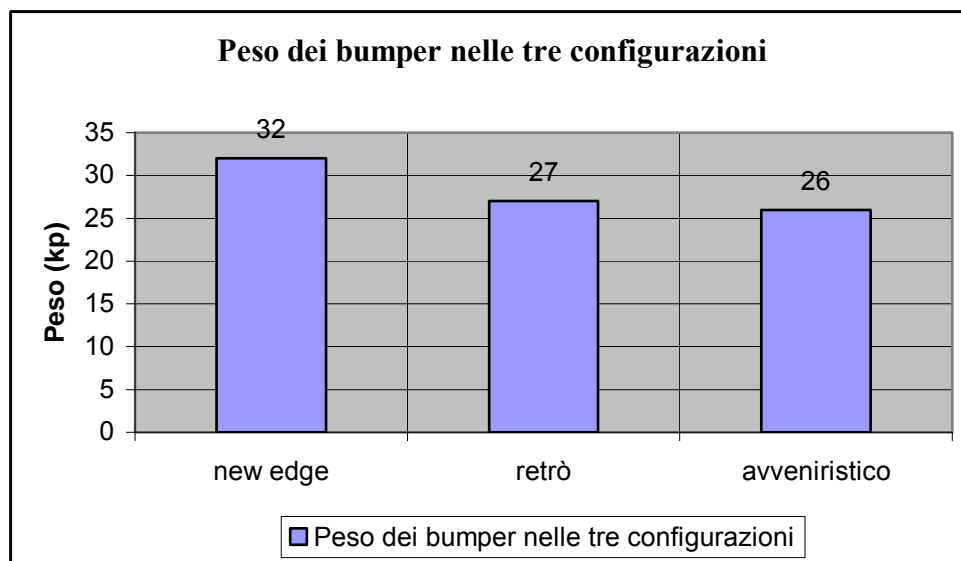
Dai calcoli svolti nei paragrafi precedenti si è giunti alle seguenti conclusioni:

MODELLO	PESO (kp)
NEW EDGE	32
RETRO'	27
AVVENIRISTICO	26

Si può facilmente notare che il modello meno sollecitato dal peso dei bumper è il City Bumper avveniristico: infatti l'insieme di tutti gli shock absorber di quest'ultimo pesa soltanto 26 kp a differenza degli altri due che ne pesano 27 e 32 kp. Ovviamente il fatto di pesare meno comporta minori costi di produzione e minori consumi di carburante. Tuttavia la differenza tra i valori trovati relativi ai tre modelli è molto bassa, quindi non si può esprimere un preferenza così netta per uno in particolare.

Risulta quindi necessaria un'analisi ulteriore, questa volta orientata a calcolare quale sia il volume d'aria massimo contenuto nelle tre versioni del City Bumper esaminate.

Ovviamente, sarà facile affermare che la carrozzeria contenente il maggior volume d'aria sarà preferibile alle altre, in quanto risulterà in grado di opporre una maggior resistenza agli urti rispetto alle due rimanenti.



## 1.4.2 Valutazioni sulla capacità massima di aria contenuta negli shock absorber dei tre modelli in studio di City Bumper

L'idea è quella di calcolare la massima capacità d'aria per ciascuna zona, laterale o frontale, anteriore o posteriore, nei tre tipi di City Bumper; si potrà così dedurre che laddove sarà contenuta più aria avremo un'area che resisterà maggiormente agli urti.

Si può inoltre anticipare che, viste le differenti geometrie, è molto probabile che un modello presenti la massima capacità rispetto agli altri due nella zona anteriore, mentre un altro nella zona laterale, così come l'altro ancora nella zona posteriore; insomma, non è detto che un modello solo sia il migliore in assoluto. Comunque, per accertarci di quanto appena affermato procediamo con i conti, analizzando, settore per settore, ciascun tipo di City Bumper.

### 1.4.2.1 Confronto dei frontali

#### 1.4.2.1.1 Retrò

Richiamando i risultati ottenuti nei paragrafi precedenti, avremo:

Numero bumper = 14

Lunghezza media bumper = 160 cm

Spessore bumper = 0.1 cm

Diametro bumper = 14 cm

Da cui otteniamo il volume d'aria contenuto:

$$\begin{aligned} \text{Volume d'aria contenuto in un bumper} &= \\ &= \{[\pi \times 13.9^2]/4\} \times 160 \text{ cm}^3 = 24280 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

e quindi:

$$\begin{aligned} \text{Volume d'aria totale} &= (24280 \times 14) \text{ cm}^3 = 339920 \text{ cm}^3 \approx \\ &\approx \mathbf{340 \text{ litri}} \end{aligned}$$

#### 1.4.2.1.2 New Edge

Analogamente:

Numero bumper = 20

Lunghezza media bumper = 160 cm

Da cui:

Volume d'aria contenuto in un bumper = 24280 cm<sup>3</sup> (è uguale al precedente poiché è uguale la lunghezza media)

E quindi:

$$\text{Volume d'aria totale} = (24280 \times 20) \text{ cm}^3 = 485600 \text{ cm}^3 \approx \mathbf{485.6 \text{ litri}}$$



### *1.4.2.1.3 Avveniristico*

Numero bumper = 17

Lunghezza media bumper = 170 cm

In tal caso il volume d'aria contenuto in un bumper sarà diverso dai precedenti:

Volume d'aria contenuto in un bumper =  $\{[\pi \times 13.9^2]/4\} \times 170 \text{ cm}^3 =$   
 $= 25797 \text{ cm}^3$

Da cui:

Volume d'aria totale =  $(25797 \times 17) \text{ cm}^3 = 438549 \text{ cm}^3 \approx \mathbf{438.5 \text{ litri}}$

### 1.4.2.2 Confronto dei posteriori

#### 1.4.2.2.1 Retrò

In tale circostanza bisognerà tenere conto della zona aggiuntiva compresa tra i due fanali posteriori, della quale abbiamo già discusso nei paragrafi precedenti; i dati relativi ai bumper di tale zona sono:

Numero bumper = 9

Lunghezza media bumper = 144 cm

Quindi:

$$\begin{aligned} \text{Volume d'aria contenuto in un bumper della zona aggiuntiva} &= \\ &= \left\{ \pi \times 13.9^2 / 4 \right\} \times 144 \text{ cm}^3 = 21851.5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

da cui:

$$\text{Volume d'aria totale zona aggiuntiva} = (21851.5 \times 9) \text{ cm}^3 = 196664 \text{ cm}^3$$

Possiamo quindi ricavare il volume d'aria totale presente nella zona posteriore complessiva del City Bumper retrò, avendo supposto, come già in precedenza, il paraurti anteriore analogo a quello posteriore:

$$\text{Volume d'aria totale} = (196664 + 339920) \text{ cm}^3 = 536584 \text{ cm}^3 \approx \mathbf{536.6 \text{ litri}}$$

#### 1.4.2.2.2 New Edge

In tal caso avremo per la stessa capacità già calcolata per il paraurti anteriore, cioè: **485.6 litri**.

#### 1.4.2.2.3 Avveniristico

Anche per il paraurti posteriore del City Bumper avveniristico abbiamo già calcolato la capacità, che per le ipotesi fatte è pari a quella del paraurti anteriore: **438.5 litri**.

### 1.4.2.3 Confronto delle zone laterali

#### 1.4.2.3.1 Retrò

I dati di cui abbiamo bisogno e dei quali già disponiamo sono i seguenti:

Numero bumper = 21

Lunghezza media = 63.33 cm

Quindi:

$$\text{Volume d'aria contenuto in un bumper} = \left\{ \frac{\pi \times 13.9^2}{4} \right\} \times 63.33 \text{ cm}^3 = 9610.6 \text{ cm}^3$$

da cui:

$$\text{Volume d'aria totale} = (9610.6 \times 21) \text{ cm}^3 = 201822 \text{ cm}^3 \approx \mathbf{202 \text{ litri}}$$

#### 1.4.2.3.2 New Edge

Dati:

Numero bumper = 17

Lunghezza media = 105 cm

Quindi:

$$\begin{aligned} \text{Volume d'aria contenuto in un bumper} &= \left\{ \frac{\pi \times 13.9^2}{4} \right\} \times 105 \text{ cm}^3 = \\ &= 15933.4 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

da cui otteniamo analogamente ai casi precedenti:

$$\begin{aligned} \text{Volume d'aria totale} &= (15933.4 \times 17) \text{ cm}^3 = 270868 \text{ cm}^3 \approx \\ &\approx \mathbf{271 \text{ litri}} \end{aligned}$$

#### 1.4.2.3.3 Avveniristico

Dati:

Numero bumper = 5

Lunghezza media = 240

Quindi:

$$\begin{aligned} \text{Volume d'aria contenuto in un bumper} &= \left\{ \frac{\pi \times 13.9^2}{4} \right\} \times 240 \text{ cm}^3 = \\ &= 36419 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

dal quale si otterrà ancora una volta:

$$\text{Volume d'aria totale} = (36419 \times 5) \text{ cm}^3 = 182096 \text{ cm}^3 \approx \mathbf{182 \text{ litri}}$$

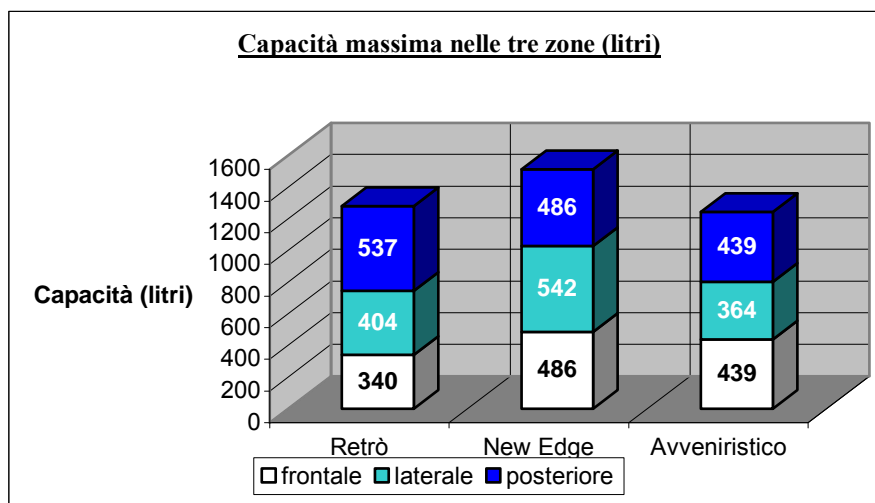
#### 1.4.2.4 Conclusioni: analisi dei risultati ottenuti

Prima di commentare i risultati ottenuti, riportiamo gli stessi nelle seguenti tabelle:

<b>CAPACITA' MASSIMA NELLE TRE ZONE (litri)</b>				
	<i>Frontale</i>	<i>Laterale(x2)</i>	<i>Posteriore</i>	<i>Totale</i>
<b><i>Retrò</i></b>	340	202 x 2	536.6	1280.6
<b><i>New Edge</i></b>	485.6	271 x 2	485.6	1513.2
<b><i>Avveniristico</i></b>	438.5	182 x 2	438.5	1241

Si può subito constatare che il modello New Edge risulta essere non solo quello con la massima capacità d'aria assoluta (ben 1513.2 litri), ma anche quello in cui quest'ultima è meglio distribuita. Infatti rispetto al modello avveniristico ed al modello retrò, le zone laterali del modello New Edge sono maggiormente protette, così come anche la zona frontale risulta essere la più riparata nel presente esemplare.

Per quel che riguarda la zona posteriore, ovviamente la più resistente è quella del City Bumper Retrò, ma solo perché è stato possibile, grazie al design particolare di tale vettura, inserire una zona aggiuntiva di protezione tra i due fanalini.



**Figura 37. Diagramma dei risultati sulle capacità massime**

Inoltre, a confermare la migliore distribuzione dell'aria nel modello new edge ci può essere d'aiuto anche un'analisi dei valori in percentuale, considerando pari a 100 la capacità assoluta di un determinato modello:

<b>CAPACITA' MASSIMA NELLE TRE ZONE (%)</b>				
	<i>Frontale</i>	<i>Laterale(x2)</i>	<i>Posteriore</i>	<i>Totale</i>
<b><i>Retrò</i></b>	26	16 x 2	42	100
<b><i>New Edge</i></b>	32	18 x 2	32	100
<b><i>Avveniristico</i></b>	35	15 x 2	35	100

In base alla presente analisi si può concludere che il modello maggiormente indicato per un migliore sfruttamento delle caratteristiche protettive dei bumper è il modello New Edge.

Tuttavia dobbiamo ancora ottimizzare il lavoro fin qui svolto: bisogna infatti considerare quale sia la massima capacità d'aria in rapporto all'area della superficie coperta dai bumper (*capacità specifica*). Dovremo cioè vedere in termini di *litri/cm<sup>2</sup>* qual è il massimo valore di capacità specifica nei tre modelli nelle tre zone.

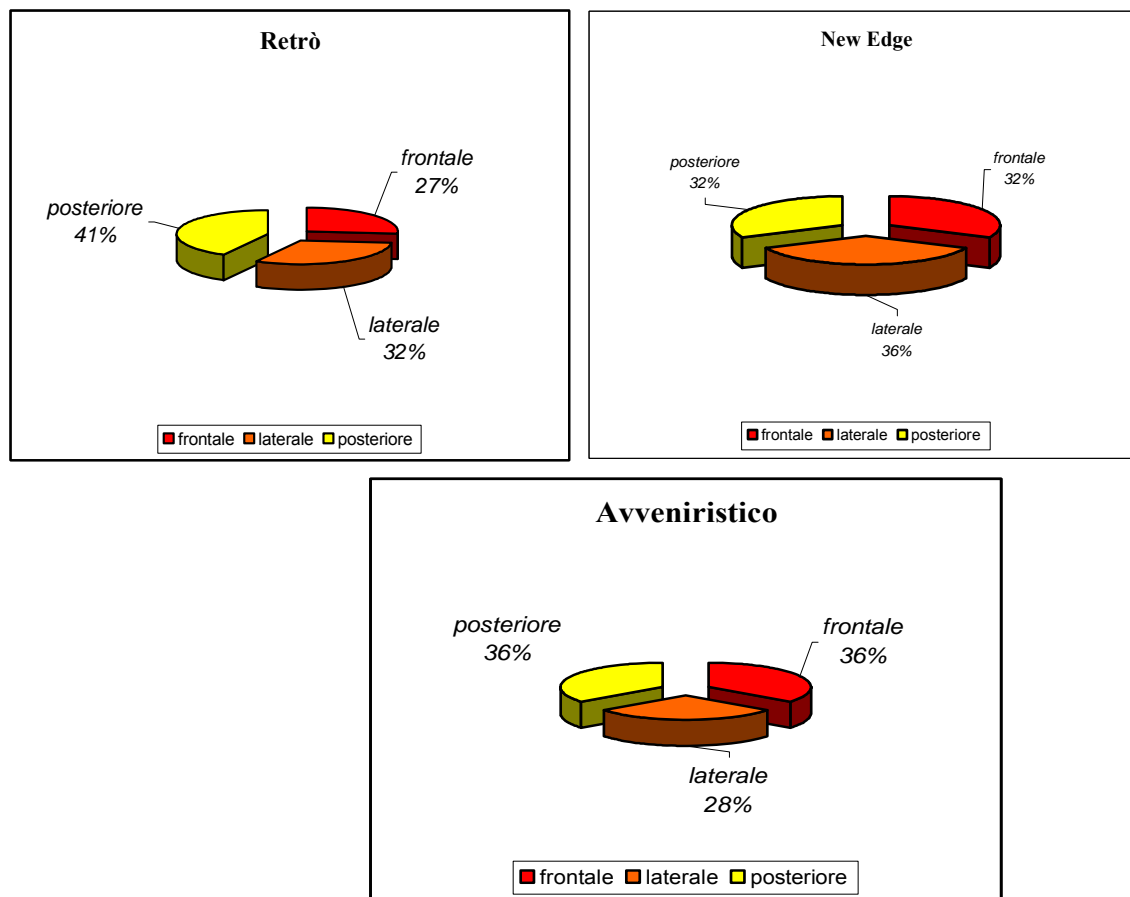


Figura 38. Ripartizione percentuale della capacità massima nelle tre zone

#### 1.4.2.4.1 Calcolo della capacità specifica rispetto alla superficie coperta

Il calcolo è molto semplice: per ciascuna zona di ciascun modello dovremo dividere il valore della capacità d'aria con il valore dell'area della superficie coperta.

##### a) Modello Retrò:

Dati:

Larghezza media paraurti anteriore e posteriore = 160 cm

Altezza paraurti anteriore e posteriore = 50 cm

Larghezza media zona aggiuntiva posteriore = 144 cm

Altezza zona aggiuntiva posteriore = 50 cm

Lunghezza media sportello = 63.33 cm

Altezza media sportello = 105 cm

Capacità massima frontale = 340 litri

Capacità massima sportello = 202 litri

Capacità massima posteriore = 536 litri

Da cui:

Area superficie frontale =  $(160 \times 50) \text{ cm}^2 = 8000 \text{ cm}^2$

Area superficie sportello =  $(63.33 \times 105) \text{ cm}^2 = 6650 \text{ cm}^2$

Area superficie posteriore =  $[(144 \times 50) + 8000] \text{ cm}^2 = 15200 \text{ cm}^2$

Calcoliamo così le capacità specifiche:

$$\begin{aligned} \text{Capacità specifica frontale} &= (340 / 8000) \text{ litri/cm}^2 = \\ &= \mathbf{0.04250 \text{ litri/cm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacità specifica sportello} &= (202 / 6650) \text{ litri/cm}^2 = \\ &= \mathbf{0.03038 \text{ litri/cm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacità specifica posteriore} &= (536 / 15200) \text{ litri/cm}^2 = \\ &= \mathbf{0.03526 \text{ litri/cm}^2} \end{aligned}$$

*b) Modello New Edge:*

Dati:

Larghezza media paraurti anteriore e posteriore = 160 cm

Altezza paraurti anteriore e posteriore = 65 cm

Lunghezza media sportello = 110 cm

Altezza media sportello = 95 cm

Capacità massima frontale = 485.6 litri

Capacità massima sportello = 271 litri

Capacità massima posteriore = 485.6 litri

Da cui:

Area superficie frontale =  $(160 \times 65) \text{ cm}^2 = 10400 \text{ cm}^2$

Area superficie sportello =  $(110 \times 95) \text{ cm}^2 = 10450 \text{ cm}^2$

Area superficie posteriore = Area superficie frontale =  $10400 \text{ cm}^2$

Calcoliamo le capacità specifiche:

$$\begin{aligned} \text{Capacità specifica frontale} &= (485.6 / 10400) \text{ litri/cm}^2 = \\ &= \mathbf{0.04669 \text{ litri/cm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacità specifica sportello} &= (271 / 10450) \text{ litri/cm}^2 = \\ &= \mathbf{0.02593 \text{ litri/cm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacità specifica posteriore} &= \text{Capacità specifica frontale} = \\ &= \mathbf{0.04669 \text{ litri/cm}^2} \end{aligned}$$

*c) Modello Avveniristico*

Dati:

Larghezza media paraurti anteriore e posteriore = 170 cm

Altezza paraurti anteriore e posteriore = 60 cm

Lunghezza media fascione laterale = 240 cm

Altezza media fascione laterale = 30 cm

Capacità massima frontale = 438.5 litri

Capacità massima sportello = 182 litri

Capacità massima posteriore = 438.5 litri

Da cui:

Area superficie frontale =  $(170 \times 60) \text{ cm}^2 = 10200 \text{ cm}^2$

Area superficie zona laterale =  $(240 \times 30) \text{ cm}^2 = 7200 \text{ cm}^2$

Area superficie posteriore = Area superficie posteriore =  $10200 \text{ cm}^2$

Calcoliamo infine le capacità specifiche:

$$\begin{aligned} \text{Capacità specifica frontale} &= (438.5 / 10200) \text{ litri/cm}^2 = \\ &= \mathbf{0.04299 \text{ litri/cm}^2} \end{aligned}$$

$$\text{Capacità specifica zona laterale} = (182 / 7200) \text{ litri/cm}^2 =$$

$$= 0.02528 \text{ litri/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Capacità specifica posteriore} &= \text{Capacità specifica frontale} = \\ &= 0.04299 \text{ litri/cm}^2 \end{aligned}$$

#### 1.4.2.4.2 Analisi dei risultati

Inseriamo in tabella le capacità specifiche:

CAPACITA' SPECIFICA NELLE TRE ZONE (litri/cm <sup>2</sup> )			
	Frontale	Laterale	Posteriore
<b>Retrò</b>	0.04250	0.03038	0.03526
<b>New Edge</b>	0.04669	0.02593	0.04669
<b>Avveniristico</b>	0.04299	0.02528	0.04299

Ancora una volta possiamo notare che, nel complesso, la versione migliore risulta essere la new edge, anche se la maggior capacità specifica nella zona laterale si ha nel modello retrò.

Un'altra considerazione importante da fare riguarda la zona posteriore del City Bumper retrò; infatti, è facile vedere che senza zona aggiuntiva, la capacità specifica rimarrebbe più elevata: essa infatti sarebbe identica a quella del frontale della stessa versione.

Per quel che riguarda il modello avveniristico, si può constatare che la capacità dei due paraurti, anteriore e posteriore, è più che buona, mentre risulta la peggiore delle tre quella relativa alla zona laterale.

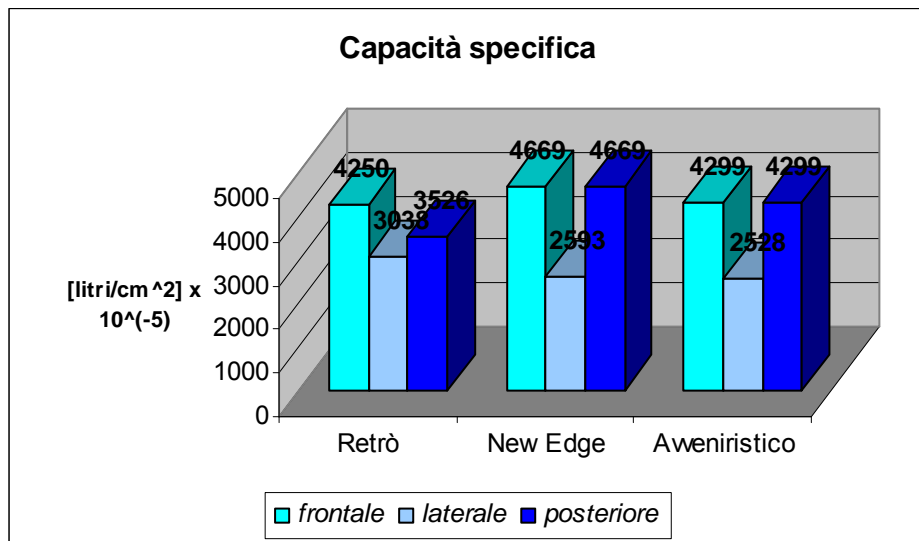


Figura 39. Capacità specifica [litri/cm<sup>2</sup>] x 10<sup>(-5)</sup>



## 1.5.1 Analisi ed ottimizzazione dei costi

Nel seguente capitolo si procederà prima ad un'analisi dettagliata dei costi di produzione del City Bumper, poi alla ottimizzazione degli stessi con lo scopo di decidere l'aspetto definitivo della carrozzeria del nostro quadriciclo.

### 1.5.1 Analisi dei costi

L'analisi dei costi del City Bumper è stata effettuata considerando come esemplare di riferimento il modello "new edge", con quella meccanica e con quella ciclistica che abbiamo descritto nel capitolo 7. E' molto importante chiarire questi aspetti, in quanto per ogni tipologia di finiture estetiche e di organi meccanici abbiamo, ovviamente, costi differenti.

Un'altra importante precisazione da fare, prima di procedere alla descrizione dei costi suddetti, riguarda il fatto di distinguerli in *costi generali* (comprendenti sia i costi di progettazione, sperimentazione, ecc., sia i costi di gestione generale) ed in *costi unitari*. Mentre i primi sono costi da dividere per il numero di beni totale che si intende produrre, e quindi calano all'aumentare dei volumi di produzione, i secondi sono costi che possiamo assegnare direttamente al prodotto, avendo, come dice il loro stesso nome, valenza unitaria.

#### 1.5.1.1 Costi generali

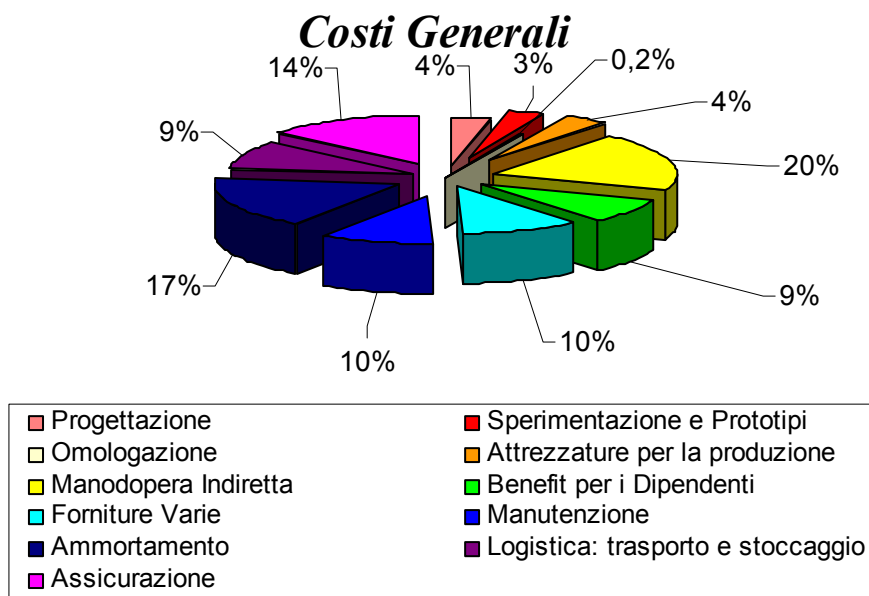
I costi generali di realizzazione di un quadriciclo riguardano:

- la progettazione;
- la sperimentazione;
- l'omologazione;
- le attrezzature atte alla produzione (stampi, macchine utensili,...) de:
  1. il telaio
  2. la carrozzeria
  3. altre attrezzature
- la gestione degli impianti, l'energia, gli stipendi, ecc.(spese generali di gestione)

Grazie alla gentile collaborazione di un grande esperto del settore automobilistico, l'Ing. Paolo Stanzani, progettista famoso ai più per avere ideato e realizzato una delle macchine più belle nella storia dell'autoveicolo, la Lamborghini Countach, siamo riusciti ad assegnare a ciascuna delle voci sopra elencate un valore monetario e, perciò, a fare una stima piuttosto precisa di quello che verrebbe a costare, in termini generali, il City Bumper New Edge. A tale risultato, andrà poi aggiunto quello ottenuto nel sottoparagrafo successivo, cioè il valore del costo unitario, l'I.V.A. (20%), gli utili aziendali (5%) e del concessionario (15%), per ottenere il prezzo finale.

<b>COSTI GENERALI (PROGETTAZIONE, PROTOTIPAZIONE, PRODUZIONE, GESTIONE GENERALE) PER CITY BUMPER NEW EDGE (Euro)</b>	
<i>Progettazione</i>	170000
<i>Sperimentazione e Prototipi</i>	160000
<i>Omologazione</i>	10000
<i>Attrezzature per la produzione riguardanti:</i>	
1. telaio	15000
2. carrozzeria	95000
3. altro	80000
<i>Manodopera Indiretta</i>	950000
<i>Benefit per i Dipendenti</i>	420000
<i>Forniture Varie</i>	500000
<i>Manutenzione</i>	480000
<i>Ammortamento</i>	840000
<i>Logistica: trasporto e stoccaggio</i>	450000
<i>Assicurazione</i>	680000
<b><i>Totale</i></b>	<b><i>4850000</i></b>

Da cui il seguente grafico a torta:



**Figura 40. Distribuzione dei costi generali**

Per ottenere il costo relativo ad un solo veicolo, è necessario sapere quanti veicoli possono essere “assorbiti” dal mercato ogni anno e per quanti anni.

Da un’attenta analisi di mercato del settore in questione, siamo riusciti a risalire ai seguenti dati:

- ✓ *Numero totale di vetture Microcar vendute in un anno = 6500 vetture/anno*
- ✓ *Numero dei principali concorrenti = 9 (Chatenet, Grecav, JDM, Casalini, Town Life, Ligier, Tasso, Aixam, Bellier)*
- ✓ *Prezzo medio di un quadriciclo = 10500 Euro*

A questo punto è facile dedurre che se il City Bumper costasse meno di 10000 Euro, sicuramente esso risulterebbe competitivo con la concorrenza e si potrebbe puntare così ad una produzione di 1000 veicoli l’anno, per quattro anni.

Dunque avremmo che il numero totale di City Bumper prodotti sarebbe pari a 4000 ed il costo generale riferito ad una singola unità sarebbe pari a:

$$\begin{aligned}\text{Costo generale di produzione per unità di prodotto} &= \\ &= 4850000/4000 \text{ Euro/unità} = \\ &= \mathbf{1212.5 \text{ Euro/unità}}\end{aligned}$$

### 1.5.1.2 Costi unitari

I costi unitari riguardano:

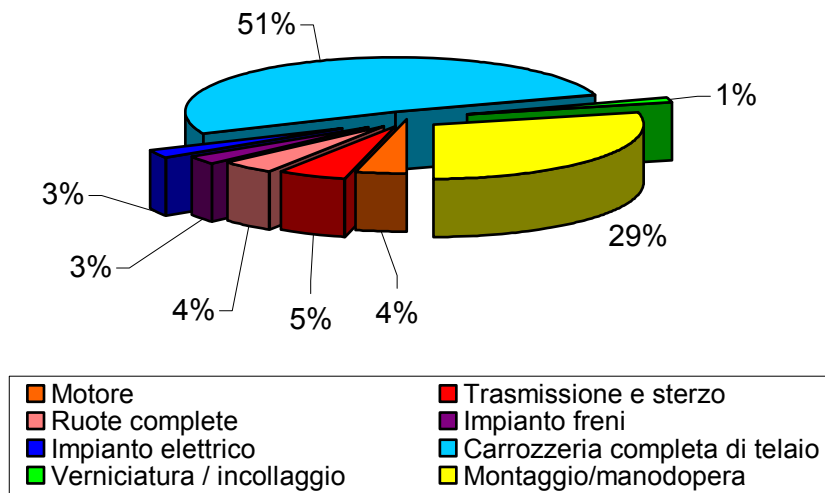
- Il motore
- La trasmissione
- Le ruote complete
- L'impianto dei freni
- L'impianto elettrico
- La carrozzeria completa di telaio
- La verniciatura
- Il montaggio e la manodopera

Considerando che per ciascun veicolo il montaggio prevede 50 ore di lavoro e considerando che la manodopera oraria per ciascuna auto costa 50 Euro, avremo che montaggio e manodopera ammontano a 2500 Euro. Tuttavia sintetizziamo nella tabella sotto tutte le voci, con i relativi costi:

<b>COSTI UNITARI (Euro/unità)</b>	
Motore	350
Trasmissione e sterzo	450
Ruote complete	350
Impianto freni	230
Impianto elettrico	220
Carrozzeria completa di telaio	4500 (*)
Verniciatura / incollaggio	100
Montaggio/manodopera	2500
<b>TOTALE</b>	<b>8700</b>

(\*) tale valore sarà proprio quello che noi andremo a ricalcolare ed ad ottimizzare, in quanto esso risulta essere il più alto rispetto agli altri.

## ***Costi Unitari***



**Figura 41. Ripartizione dei costi unitari**

### 1.5.1.3 Prezzo finale per il pubblico

Per calcolare il prezzo di vendita bisogna sommare i due costi totali ottenuti sopra e, ad essi, aggiungere prima un 5% del totale relativo all'utile aziendale, poi un 15% relativo all'utile del concessionario, infine il 20% di I.V.A..

Avremo allora che:

**Prezzo finale** = Costo generale unitario + Costo unitario + (Costo generale unitario + Costo unitario) x 5/100 + [(Costo generale unitario + Costo unitario + (Costo generale unitario + Costo unitario) x 5/100] x 15/100 + {[Costo generale unitario + Costo unitario + (Costo generale unitario + Costo unitario) x 5/100] x 15/100} x 20/100 = [(8700 + 1212.5) + (8700 + 1212.5) x 5/100] + [(8700 + 1212.5) + (8700 + 1212.5) x 5/100] x 15/100 + {[[(8700 + 1212.5) + (8700 + 1212.5) x 5/100] x 15/100} x 20/100 Euro/unità = **14363.2 Euro/unità**

Questo risultato è nettamente al di sopra della media dei prezzi dei quadricicli analoghi che sono sul mercato (prezzo medio = 10500 Euro/unità).

Sarà dunque necessario intervenire su alcune voci di costo esposte sopra, per abbassare le stesse e, di conseguenza, il prezzo appena calcolato.

<b>PREZZO AL PUBBLICO</b>
1. Costi generali / unità prodotte +
2. Costo unitario +
3. 5% di utile aziendale
4. 15% di utile concessionario +
5. 20% I.V.A.

### *Prezzo Finale*

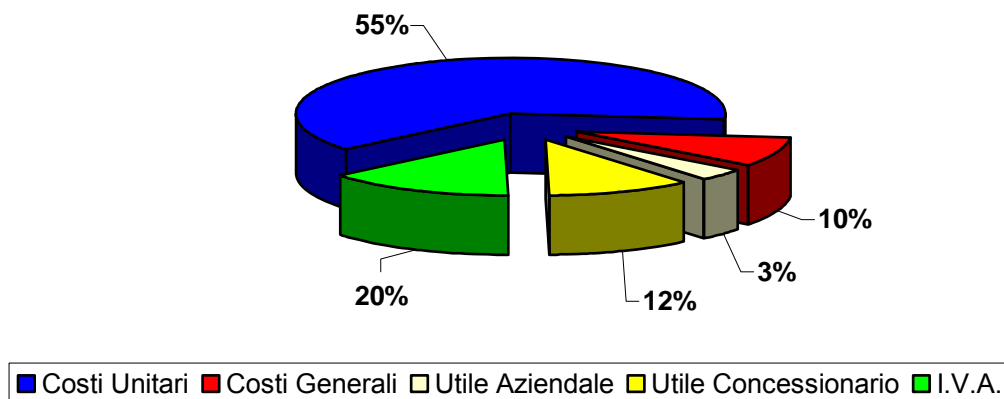


Figura 42. Prezzo finale di vendita

## 1.5.2 Ottimizzazione dei costi

### 1.5.2.1 Ottimizzazione dei costi di carrozzeria

Nel modello New Edge del City Bumper, il costo stimato di 4500 Euro per produrre la carrozzeria può sicuramente essere ridotto, anche se non di molto, grazie a due piccoli accorgimenti tecnici. Come si può vedere dai disegni qui di seguito, il risparmio può nascere sia dalla eliminazione del tetto dell'auto, con la conseguente sostituzione dello stesso con una *capotte* di tela (sullo stile della Topolino degli Anni '50), e soprattutto dallo speciale disegno simmetrico del pannello laterale che fa da cornice allo sportello. In questo modo non si ha più la necessità di avvalersi di tre stampi in fase di produzione del suddetto pannello, bensì di due soltanto.

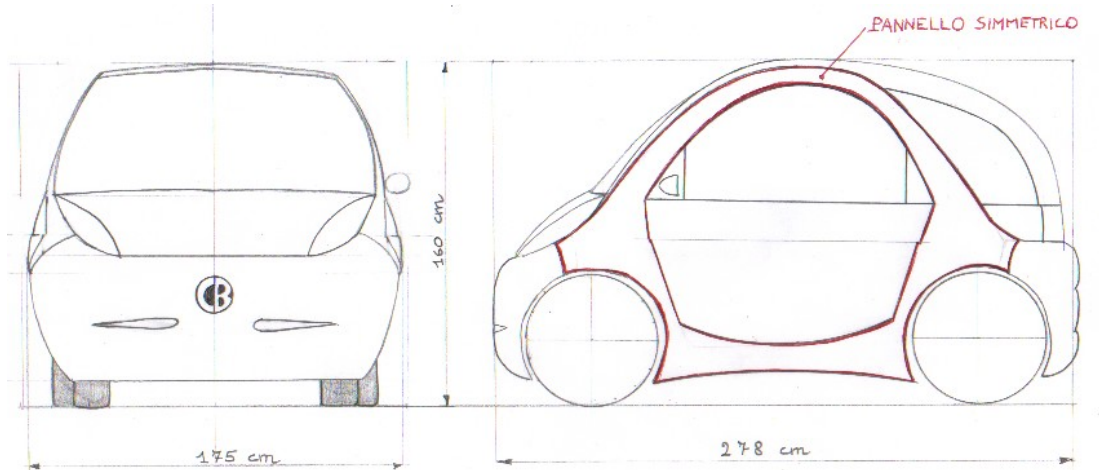
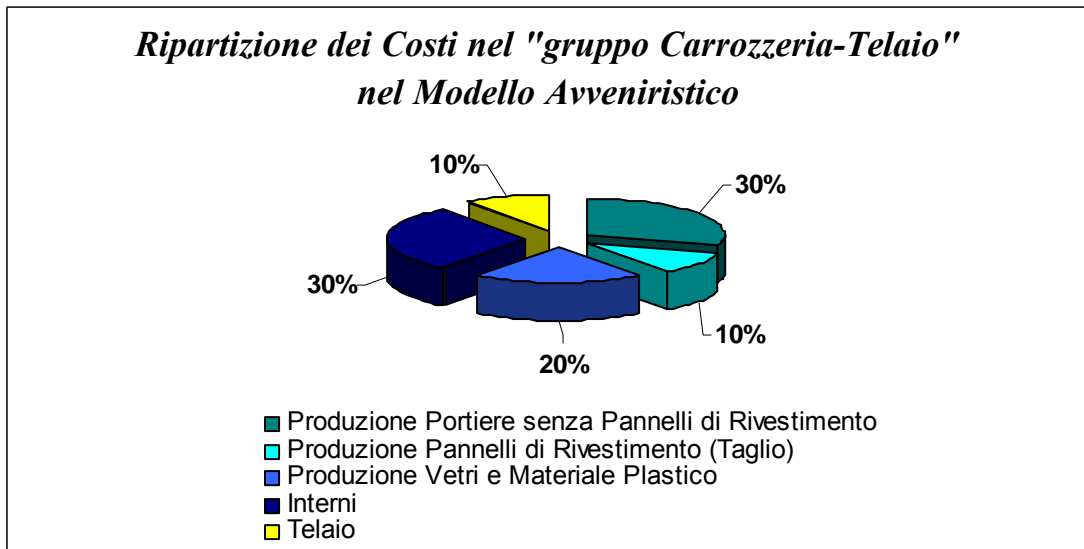


Figura 43. Modello New Edge con pannello simmetrico

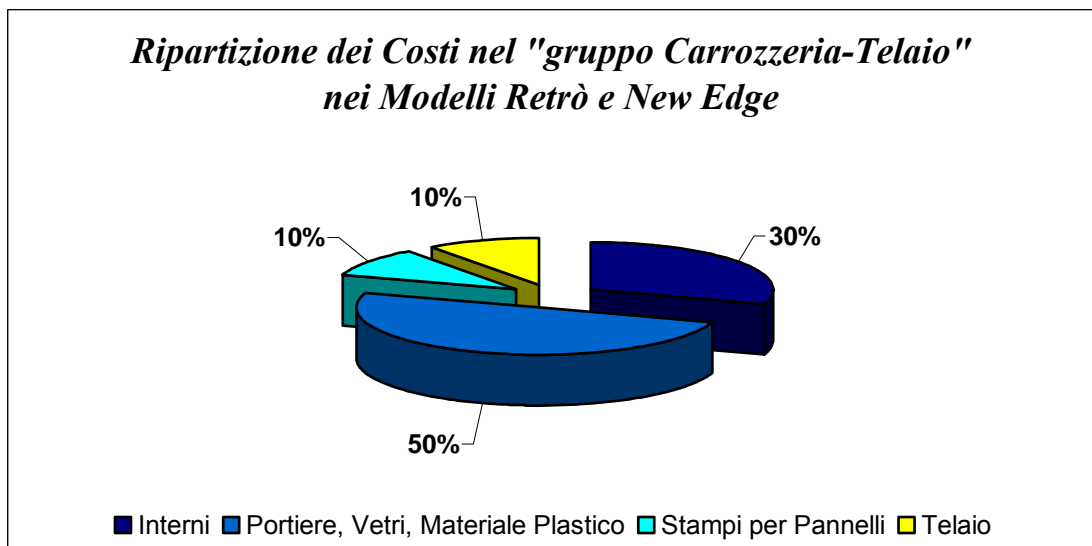
Tutto ciò, insieme alla scelta di materiali plastici e non metallici per la carrozzeria, ci consente un buon risparmio, che possiamo calcolare qui di seguito. Tuttavia, procedendo con ordine, eseguiamo i conti relativi ai costi totali del complesso carrozzeria-telaio per tutti e tre i modelli proposti in questa tesi. Poiché il costo complessivo dell'insieme carrozzeria-telaio è ripartibile percentualmente nel seguente modo nei *modelli retrò e new edge*:

- ✓ 90% carrozzeria: **60% esterni**, divisibile in:
  - 10% stampi per pannelli
  - 50% portiere, vetri, materiale plastico
- 30% interni**
- ✓ 10% telaio



ed invece in quest'altro modo nel *modello avveniristico*:

- ✓ 90% carrozzeria: **60% esterni**, divisibile in:
  - 40% produzione pannelli e portiere
  - 30% portiere senza pannelli
  - 10% produzione pannelli (taglio)
  - 20% vetri e materiale plastico
- 30% interni**
- ✓ 10% telaio



è possibile, dopo aver calcolato il costo dei soli stampi, risalire al costo complessivo dell'intero sistema carrozzeria-telaio.

E' importante fare una considerazione molto importante, prima di iniziare il calcolo: poiché la seguente è un trattazione generale, si considererà vera questa ipotesi: gli stampi da noi utilizzati avranno tutti le stesse dimensioni (supposte dimensioni medie). Inoltre avremo che per il modello New Edge, se ottimizzato, saranno necessari solo due stampi, uno per il cofano motore, l'altro per i pannelli simmetrici laterali; per il



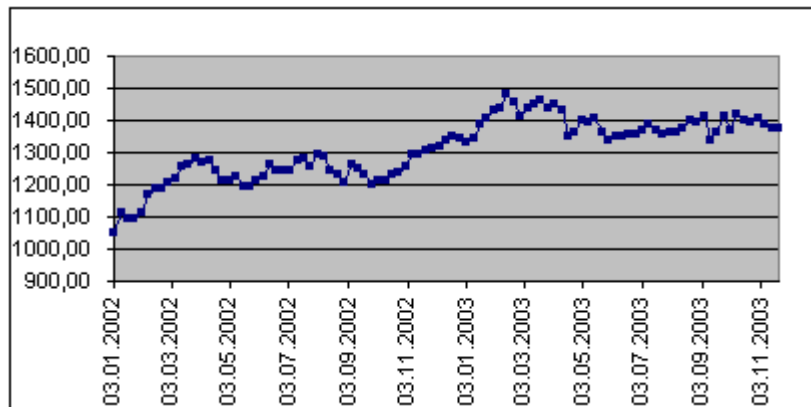
modello Retrò saranno necessari ben sette stampi (uno per il cofano motore, uno per il tetto, quattro per i pannelli laterali, uno per il pannello frontale); infine per il modello Avveniristico non sono necessari stampi, poiché i pannelli che compongono la carrozzeria sono tutti realizzabili con tecnologie molto più semplici, come ad esempio il taglio. Anche se già si capisce che la carrozzeria più economica risulta essere quest'ultima, proviamo ad eseguire i conti per vedere se le stime da noi effettuate sono giuste e se anche i due modelli apparentemente più costosi riescono ad avere un prezzo di vendita inferiore ai 10500 Euro.

### 1.5.2.1.1 Modello Retrò

- ✓ Prezzo stimato di vendita = 15000 Euro
- ✓ Numero di stampi necessari = 7

Procediamo con il calcolo del prezzo di acquisto di un pannello, che deve essere necessariamente di alluminio, in quanto serve per la realizzazione di pezzi di materiale plastico. I dati relativi all'alluminio che ci servono sono:

- ✓ densità dell'alluminio  $\rho_{al} = 2.70 \text{ kg/dm}^3$
- ✓ prezzo alluminio (da grafico sotto) = 1400 \$/ton



**Figura 44. Andamento prezzo dell'alluminio in \$/tonnellata**

Inoltre, altri dati importanti risultano essere le dimensioni dello stampo e i costi orari complessivi di manodopera ed ore macchina:

- ✓ costi orari complessivi di macchina e manodopera = 250000 Euro
- ✓ dimensioni: altezza = 40 cm  
larghezza = 105 cm  
lunghezza = 120 cm

A questo punto possiamo calcolare prima il volume, quindi la massa ed infine il prezzo complessivo di uno stampo, sapendo che il suo costo deve essere incrementato di un 15%, pari all'utile del rivenditore.

$$\text{Volume stampo} = (40 \times 105 \times 120) \text{ cm}^3 = 504000 \text{ cm}^3 = 504 \text{ dm}^3$$

$$\text{Massa stampo} = (504 \times 2.70) \text{ kg} = 1360.8 \text{ kg}$$

$$\text{Costo stampo} = [1360.8 \times 1400 / (1.15 \times 1000)] = 1657 \text{ Euro}$$

$$\text{Prezzo stampo (5\% utile azienda; 20\% di I.V.A.)} = [1657 + 1657 \times 5/100 + (1657 + 1657 \times 5/100) \times 20/100] \text{ Euro} = 2088 \text{ Euro}$$

Poiché uno stampo per materiale plastico (ABS-PMMA) non si rompe, in media, prima di aver prodotto almeno 500000 pezzi, se le vetture in produzione sono 4000, ci vorranno:

Numero di stampi da acquistare per i pannelli laterali = **4**

Numero di stampi da acquistare per il cofano motore = **1**

Numero di stampi da acquistare per il pannello anteriore = **1**

Numero di stampi da acquistare per il tetto = **1**

Allora il prezzo totale degli stampi da acquistare sarà:

$$\text{Prezzo totale} = (4 + 1 + 1 + 1) \times 2088 = 14616 \text{ Euro}$$

Tale valore va sommato ai costi orari macchina e di manodopera relativi ad un singolo stampo, pari a 250000 Euro; in tal modo il costo globale di manodopera e di ore macchina risulta:

$$\begin{aligned} \text{Costo globale di manodopera ed ore macchina} &= (250000 \times 7) \text{ Euro} = \\ &= 1750000 \text{ Euro} \end{aligned}$$

Allorchè la spesa complessiva per gli stampi risulta:

$$\text{Spesa complessiva stampi} = (1750000 + 14616) \text{ Euro} = 1764616 \text{ Euro}$$

Per avere il costo complessivo del complesso carrozzeria-telaio, dovremo considerare lo schema delle percentuali visto sopra, e quindi procedere con i calcoli:

$$\begin{aligned} \text{Costo carrozzeria-telaio singolo veicolo retrò} &= \\ &= [(1764616/10 \times 100)/4000] \text{ Euro} = \\ &= \mathbf{4411.5 \text{ Euro}} \end{aligned}$$

A questo punto possiamo calcolare nuovamente, ma per il modello retrò, il prezzo finale (15%: utili azienda e concessionario; 20%: I.V.A.):

$$\begin{aligned} \text{Prezzo finale modello retrò} &= [(8700 + 1212.5 - 4500 + 4411.5) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 4411.5) \times 5 / 100] + \\ &+ [(8700 + 1212.5 - 4500 + 4411.5) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 4411.5) \times 5 / 100] \times 15/100 + \\ &+ (20/100) \times \{[(8700 + 1212.5 - 4500 + 4411.5) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 4411.5) \times 5 / 100] + \\ &+ [(8700 + 1212.5 - 4500 + 4411.5) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 4411.5) \times 5 / 100] \times 15/100\} \text{ Euro} = \mathbf{14235 \text{ Euro}} \end{aligned}$$

Tale valore ci conferma che la nostra stima di 15000 Euro era giusta e per questo tale versione risulta troppo costosa per poter essere competitiva con la concorrenza. Proprio per tale motivo, purtroppo, nonostante l'aspetto molto accattivante, il modello Retrò dovrà essere accantonato.

### 1.5.2.1.2 Modello New Edge

- ✓ Prezzo stimato di vendita = 14363.2 Euro
- ✓ Numero di stampi necessari = 4

Tutti gli altri dati relativi alle dimensioni degli stampi ed all'alluminio sono identici al caso precedente. Quindi abbiamo che:

Numero di stampi da acquistare per i pannelli laterali = **2**

Numero di stampi da acquistare per il cofano motore = **1**

Numero di stampi da acquistare per il tetto = **1**

Allora il prezzo totale degli stampi da acquistare sarà:

$$\text{Prezzo totale} = (2 + 1 + 1) \times 2088 = 8352 \text{ Euro}$$

Analogamente a quanto fatto prima, avremo che:

$$\begin{aligned} \text{Costo globale di manodopera ed ore macchina} &= (250000 \times 4) \text{ Euro} = \\ &= 1000000 \text{ Euro} \end{aligned}$$

E quindi la spesa complessiva sarà:

$$\text{Spesa complessiva stampi} = (1000000 + 8352) \text{ Euro} = 1008352 \text{ Euro}$$

Da cui il costo complessivo del complesso carrozzeria telaio sarà:

$$\begin{aligned} \text{Costo carrozzeria-telaio singolo veicolo retrò} &= \\ &= [(1008352/10 \times 100)/4000] \text{ Euro} = \\ &= \mathbf{2521 \text{ Euro}} \end{aligned}$$

Tale valore risulta essere nettamente inferiore a quello preventivato inizialmente di 4500 Euro.

A questo punto possiamo ricalcolare per il modello new edge il prezzo finale:

$$\begin{aligned} \text{Prezzo finale modello new edge} &= [(8700 + 1212.5 - 4500 + 2521) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 2521) \times \\ &5/100] + [(8700 + 1212.5 - 4500 + 2521) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 2521) \times 5/100] \times 15/100 + \{[(8700 + \\ &1212.5 - 4500 + 2521) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 2521) \times 5/100] + [(8700 + 1212.5 - 4500 + 2521) + \\ &(8700 + 1212.5 - 4500 + 2521) \times 5/100] \times 15/100\} \text{ Euro} = \mathbf{11495.6 \text{ Euro}} \end{aligned}$$

Tale prezzo risulta di molto inferiore a quello stimato nel paragrafo precedente, ma è anche più alto di quello medio della concorrenza.

Proviamo ora ad operare le modifiche citate ad inizio paragrafo, eliminando cioè lo stampo del tetto e realizzando i pannelli laterali simmetrici, per provare a rendere più competitiva tale versione.

Numero di stampi da acquistare per i pannelli laterali = **1**

Numero di stampi da acquistare per il cofano motore = **1**

Si può immediatamente notare, che il numero degli stampi da acquistare si dimezza: questo ci porta inevitabilmente ad una netta diminuzione dei costi.

Procediamo con i conti:

$$\text{Prezzo totale} = (1 + 1) \times 2088 = 4176 \text{ Euro}$$

$$\text{Costo globale di manodopera ed ore macchina} = (250000 \times 2) \text{ Euro} = 500000 \text{ Euro}$$

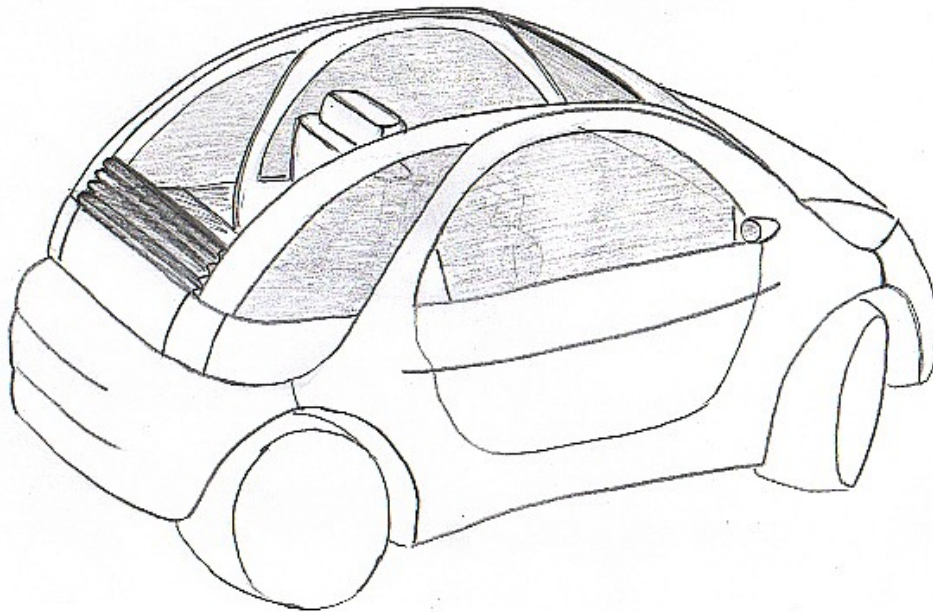
$$\text{Spesa complessiva stampi} = (500000 + 4176) \text{ Euro} = 504176 \text{ Euro}$$

Da cui il costo complessivo del complesso carrozzeria telaio sarà (bisogna apportare una piccola modifica: la percentuale relativa alle plastiche aumenterà di un 3% circa, facendo diminuire la percentuale degli stampi da 10% a 7% circa):

$$\begin{aligned} \text{Costo carrozzeria-telaio singolo veicolo new edge cabrio} &= \\ &= [(504176/7 \times 100)/4000] \text{ Euro} = \\ &= \mathbf{1800.6 \text{ Euro}} \end{aligned}$$

Ricalcoliamo così il prezzo:

$$\begin{aligned} \text{Prezzo finale modello new edge cabrio} &= [(8700 + 1212.5 - 4500 + 1800.6) + (8700 + 1212.5 - 4500 + \\ &+ 1800.6) \times 5/100] + [(8700 + 1212.5 - 4500 + 1800.6) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 1800.6) \times 5/100] \times \\ &15/100 + \{[(8700 + 1212.5 - 4500 + 1800.6) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 1800.6) \times 5/100] + [(8700 + \\ &+ 1212.5 - 4500 + 1800.6) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 1800.6) \times 5/100] \times 15/100\} \times 20/100 \text{ Euro} = \mathbf{10452} \\ &\mathbf{\text{Euro}} \end{aligned}$$



**Figura 45. Modello New Edge Cabrio**

Possiamo dire che, pur essendo questa una soluzione già competitiva con la concorrenza (il prezzo è uguale a quello medio) e presentando un'estetica molto accattivante, essa non ha presumibilmente un prezzo tale da garantire un successo sicuro, soprattutto considerando il fatto che i volumi stimati di vendita dovrebbero aggirarsi sui 1000 veicoli l'anno.

Non ci resta a questo punto che cercare di ottimizzare al massimo il modello Avveniristico, esemplare che fin dalle prime considerazioni ci era sembrato il più conveniente.

### 1.5.2.1.3 Modello Avveniristico

Il modello “Avveniristico” ha il grande vantaggio di avere una configurazione della carrozzeria tale da presentare pannelli che possono non essere necessariamente prodotti tramite stampi. Infatti, essendo tali pannelli per lo più piatti o ad una singola curvatura, le tecnologie preferibili per la loro produzione sono quelle del taglio e dell’incollaggio a caldo direttamente sul telaio tubolare dell’auto. In questo modo, i costi di lavorazione di tutti i pannelli della carrozzeria diminuiscono notevolmente rispetto ai casi precedenti: il taglio, infatti, rispetto allo stampaggio, consente un risparmio del 66.6%.

A questo punto, possiamo procedere con i conti simulando prima una produzione della carrozzeria tramite stampi, poi calcolando il costo del taglio, tecnologia di produzione da noi scelta, calcolando il 33.3% del valore ottenuto.

- ✓ Prezzo stimato di vendita = 9000 Euro
- ✓ Numero di stampi necessari = 6 (pannello anteriore, 3 sportelli, tetto, montante)

Abbiamo allora che:

Numero di stampi da acquistare per gli sportelli laterali e posteriore = **3**

Numero di stampi da acquistare per il pannello anteriore = **1**

Numero di stampi da acquistare per il tetto = **1**

Numero di stampi da acquistare per il montante = **1**

Allora il prezzo totale degli stampi da acquistare sarà:

$$\text{Prezzo totale} = (3 + 1 + 1 + 1) \times 2088 = 12528 \text{ Euro}$$

Analogamente a quanto fatto prima, avremo che:

$$\begin{aligned} \text{Costo globale di manodopera ed ore macchina} &= (250000 \times 6) \text{ Euro} = \\ &= 1500000 \text{ Euro} \end{aligned}$$

$$\text{Spesa complessiva stampi} = (1500000 + 12528) \text{ Euro} = 1512528 \text{ Euro}$$

Da cui possiamo calcolare il costo complessivo del taglio, tenendo presente che esso risulta un terzo della spesa per gli stampi:

$$\text{Costo complessivo pannelli tagliati} = (1512528/3) \text{ Euro} = 504176 \text{ Euro}$$

Da cui il costo complessivo del complesso carrozzeria-telaio sarà (bisogna ricordare però che la percentuale sui costi della produzione dei pannelli della carrozzeria è pari al 10%):

$$\begin{aligned} \text{Costo carrozzeria-telaio singolo veicolo avveniristico} &= \\ &= [(504176/10 \times 100)/4000] \text{ Euro} = \\ &= \mathbf{1260.44 \text{ Euro}} \end{aligned}$$

Ricalcoliamo così il prezzo:

*Prezzo finale modello avveniristico* =  $[(8700 + 1212.5 - 4500 + 1260.44) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 1260.44) \times 5/100] + [(8700 + 1212.5 - 4500 + 1260.44) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 1260.44) \times 5/100] \times 15/100 + \{[(8700 + 1212.5 - 4500 + 1260.44) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 1260.44) \times 5/100] + [(8700 + 1212.5 - 4500 + 1260.44) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 1260.44) \times 5/100] \times 15/100\} \times 20/100$  Euro = **9669 Euro**

Tale somma è veramente competitiva, in quanto risulta essere di molto (1000 Euro circa) al di sotto del prezzo medio della concorrenza. Tuttavia ci siamo accorti che, essendo il City Bumper “semplicemente” un quadriciclo che non vuole e non deve scimmiettare un vera autovettura, è possibile ridurre ancora di più i costi intervenendo con piccoli accorgimenti di nuovo sulla carrozzeria ed anche su alcuni componenti meccanici, quali la trasmissione posteriore e lo sterzo.

### 1.5.2.1.3.1 Ottimizzazione della carrozzeria nel Modello Avveniristico

Poiché il modello avveniristico ideato inizialmente, pur essendo nettamente più economico degli altri due, presenta soluzioni estetiche ancora troppo elaborate e complesse, è possibile intervenire per ottimizzare ulteriormente la sua carrozzeria, riuscendo in tal modo a raggiungere costi veramente molto bassi: in tal modo si avrà un prezzo di vendita *quasi dimezzato* rispetto a quello medio della concorrenza.

Come si può osservare dalle figure sottostanti, i costi elevati della soluzione originaria riguardano:

1. *il parabrezza*: esso presenta due curvature, mentre la soluzione economica ne suggerisce una soltanto;
2. *il paraurti*: la sua geometria è troppo complicata; bisogna che esso risulti il più simmetrico possibile, magari con la zona anteriore identica a quella posteriore;
3. *le dimensioni dei vetri*: vetri così estesi risultano sì essere molto belli esteticamente, ma per garantire una certa resistenza devono subire lavorazioni piuttosto costose: meglio vetri più piccoli;

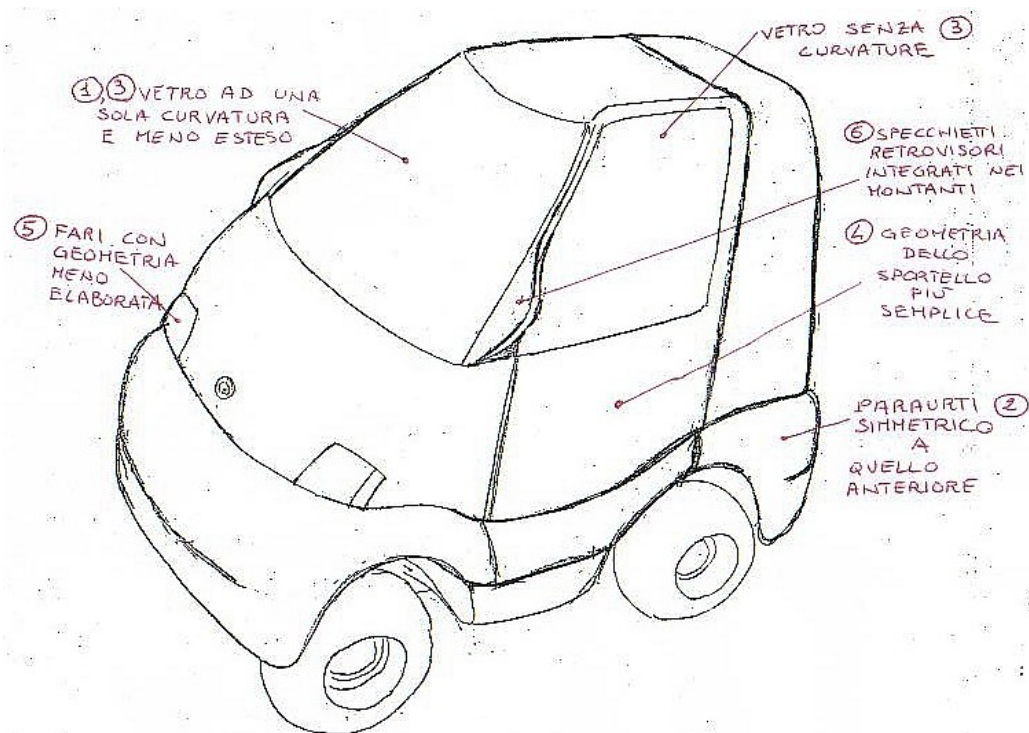


Figura 46. Modifiche sostanziali nel modello avveniristico



4. *gli sportelli*: sportelli così grandi e sagomati costano di più che semplici sportelli di dimensioni ridotte e con la forma di un semplice pannello; meglio ancora se gli sportelli vengono eliminati del tutto;
5. *i fari*: anteriormente i fari inizialmente ideati erano molto particolari, ma con una geometria ed un collocamento un po' ricercato, e quindi costoso; meglio inserire i fari all'interno del pannello anteriore sottostante il parabrezza; posteriormente invece la soluzione iniziale era troppo impegnativa per il montaggio, portando a costi elevati di manodopera;
6. *gli specchietti retrovisori*: per un'eventuale lavorazione, specchietti come quelli rappresentati risultano piuttosto dispendiosi; per questo abbiamo optato nella soluzione economica per specchietti integrati direttamente nei montanti; tuttavia se, anziché produrli, si acquistano da un'altra azienda, gli specchietti della soluzione iniziale possono essere tenuti ancora in considerazione.

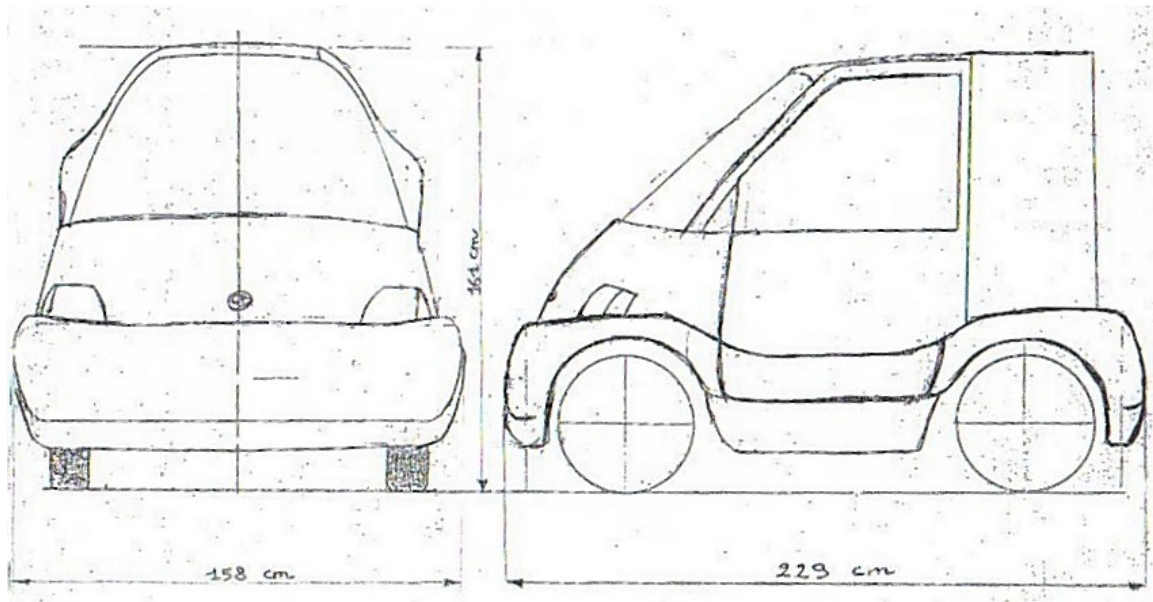


Figura 47. Proiezioni ortogonali quotate del modello avveniristico ottimizzato

A partire da queste considerazioni, abbiamo ridisegnato la vettura con lo scopo di ottenere un esemplare, anche se meno bello esteticamente, più economico del precedente. Possiamo osservarne le sue caratteristiche negli schizzi qui di seguito.

Infine possiamo anche ricalcolare il prezzo finale della nuova versione, tenendo presente lo schema dei costi già visto prima, cioè:

- ✓ 90% carrozzeria: **60% esterni**, divisibile in:
  - 40% produzione pannelli e portiere
  - 30% portiere senza pannelli
  - 10% produzione pannelli (taglio)
  - 20% vetri e materiale plastico
- 30% interni**

- ✓ 10% telaio

e sapendo che per i vetri ed il materiale plastico dei paraurti si ottiene un risparmio di circa il 30-40% (consideriamo per i conti un 35%).

Avremo che:

$$\begin{aligned}\text{Costo vetri e materiale plastico dei paraurti del modello iniziale} &= (\text{Costo di produzione pannelli e} \\ &\text{portiere})/2 = (\text{Costo di produzione pannelli con taglio}) \times 4/2 \text{ Euro} = \\ &= (504176 \times 4/2) \text{ Euro} = 1008352 \text{ Euro}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Costo vetri e materiale plastico dei paraurti del modello ottimizzato} &= \\ &= (\text{Costo vetri e materiale plastico del modello iniziale}) \times 65/100 = \\ &= 655428.8 \text{ Euro}\end{aligned}$$

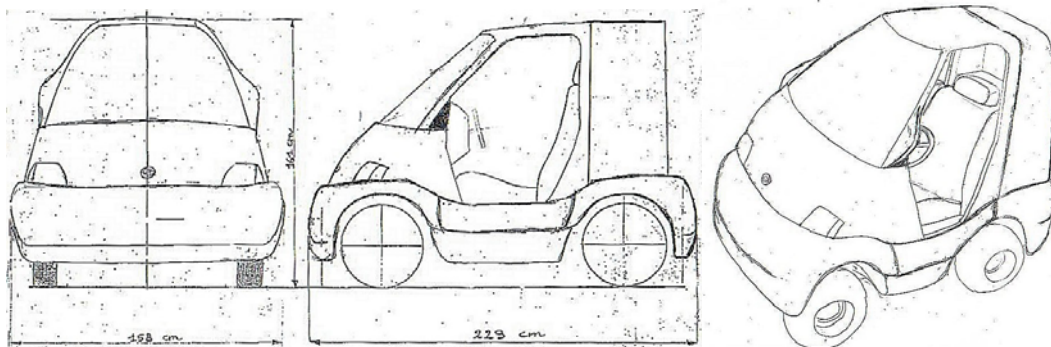
$$\begin{aligned}\text{Costo produzione pannelli e portiere modello ottimizzato} &= \\ &= (\text{Costo vetri e materiale plastico del modello ottimizzato}) \times 2 = \\ &= 1310857.6 \text{ Euro}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Costo carrozzeria-telaio singolo veicolo avveniristico ottimizzato} &= \\ &= [(1310857.6/40 \times 100)/4000] \text{ Euro} = \\ &= \mathbf{819.3 \text{ Euro}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Prezzo finale modello avveniristico ottimizzato} &= [(8700 + 1212.5 - 4500 + 819.3) + (8700 + 1212.5 - \\ &4500 + 819.3) \times 5/100] + [(8700 + 1212.5 - 4500 + 819.3) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 819.3) \times 5/100] \times \\ &15/100 + \{[(8700 + 1212.5 - 4500 + 819.3) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 819.3) \times 5/100] + [(8700 + 1212.5 - \\ &4500 + 819.3) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 819.3) \times 5/100] \times 15/100\} \times 20/100 \text{ Euro} = \mathbf{9030 \text{ Euro}}\end{aligned}$$

Ricordando quanto accennato ad inizio paragrafo, non ci resta che essere soddisfatti del prezzo che abbiamo ottenuto.

Se poi vogliamo esagerare, esasperando il concetto di quadriciclo ed allontanandoci sempre più da quello di microvettura, possiamo eliminare persino le portiere, sostituendole con delle semplicissime tendine di materiale plastico, molto simile a quello utilizzato per le *capotte* delle vetture cabrio. In tal modo i costi relativi alla produzione dei pannelli della carrozzeria e delle portiere si abbassano ulteriormente, diminuendo del 50%.



**Figura 48. Modello avveniristico ottimizzato senza portiere**

Tuttavia calano anche quei costi relativi alla produzione dei vetri: non essendoci gli sportelli non ci sono più neppure i loro vetri. Quindi anche la voce “costi dei vetri e del materiale plastico” cala del 50% anch’essa.

Avremo così che il costo del complesso carrozzeria-telaio di tale versione sarà il seguente:

$$\begin{aligned}\text{Costo carrozzeria-telaio singolo veicolo avveniristico ottimizzato senza portiere} &= \\ &= (\text{Costo carrozzeria-telaio singolo veicolo ottimizzato}) - (\text{Risparmio unitario per la non produzione delle} \\ &\text{portiere e dei relativi vetri}) = \\ &= [819.3 - (1310857.6/4000)/2 - (655428.8/4000)/2] \text{ Euro} = \\ &= \mathbf{573.5 \text{ Euro}}\end{aligned}$$

*Prezzo finale modello avveniristico ottimizzato senza portiere* =  $[(8700 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] + [(8700 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] \times 15/100 + \{[(8700 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] + [(8700 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] \times 15/100\} \times 20/100$  Euro = **8673.7 Euro**

### *1.5.2.2 Ottimizzazione dei costi di altri componenti*

Per ottimizzare ulteriormente il prezzo finale del City Bumper che abbiamo ottenuto poc'anzi, è possibile intervenire anche su altri componenti della vettura, che non siano necessariamente la carrozzeria. Questo però non significa che l'estetica della vettura rimarrà invariata: infatti, come vedremo tra poco, gli accorgimenti di tipo meccanico da noi operati ci costringeranno in un certo qual modo ad operare anche delle modifiche stilistiche.

Nella tabella dei costi unitari possiamo notare che la voce che presenta il valore più elevato, dopo la carrozzeria, è il gruppo “trasmissione e sterzo”: 450 Euro. Andremo così, qui di seguito, ad operare dei cambiamenti tali da abbassare notevolmente tale cifra.

#### *1.5.2.2.1 Ottimizzazione dei costi della trasmissione posteriore*

La trasmissione posteriore è assicurata, nel modello originario, da un differenziale già montato sull'asse posteriore delle ruote. Tutto l'insieme è acquistabile, già pronto, presso un'azienda di Budrio (Bo), la COMEX s.p.a.. Qui sotto abbiamo riportato un'immagine dello stesso.



**Figura 49. Gruppo di trasmissione comprendente differenziale**

La spesa complessiva per il prodotto illustrato qui sopra risulta essere di circa 250 Euro.

Tenendo presente però che la nostra microvettura non deve, per legge, superare i 45 km/h, allora è possibile eliminare il differenziale, sostituendolo semplicemente con un sistema di trasmissione costituito da corona, catena e pignone, molto simile a quello che si trova sui go-kart e sulle motociclette. Per consentire tutto ciò, è indispensabile però diminuire la distanza tra le ruote posteriori, in maniera tale che non si abbia un eccessivo strisciamento di una delle due in curva.



**Figura 50. Corone, catene e pignoni**

Nella figura sotto possiamo notare un esempio di montaggio di tali componenti su un go-kart da competizione:



**Figura 51. Sistema di trasmissione corona-catena-pignone su un go-kart da competizione**

I vantaggi in termini di costo di una soluzione simile sono notevoli: infatti in tal caso dovremo spendere:

- a. Catena: 25 Euro*
- b. Corona: 18 Euro*
- c. Pignone: 7.5 Euro*
- d. Lubrificazione: 7.5 Euro/anno x 4 anni = 30 Euro*
- e. Totale: 80.5 Euro*

anziché 300 Euro.

Alla cifra ottenuta di 80.5 Euro, andrà però sottratto anche un valore pari ad un quarto circa di quello corrispondente al costo relativo all'impianto frenante: infatti in tale configurazione si può adottare sull'assale posteriore un solo disco anziché due tamburi. Allora avremo che:

$$\begin{aligned} \text{Costo iniziale impianto frenante} &= 230 \text{ Euro} \\ \text{Costo ottimizzato impianto frenante} &= (230 - 230/4) \text{ Euro} = 172.5 \end{aligned}$$

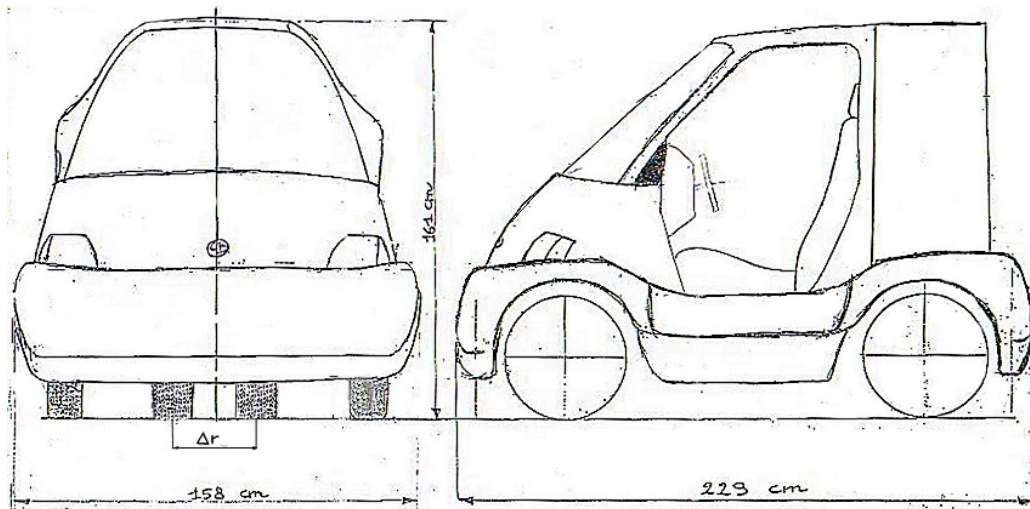
Da cui è facile ottenere che:

$$\text{Totale spesa per nuova soluzione} = (80.5 - 57.5) \text{ Euro} = 23 \text{ Euro}$$

$$\text{Risparmio complessivo} = (250 - 23) \text{ Euro} = \mathbf{227 \text{ Euro}}$$

Inoltre, a causa dell'accorciamento dell'asse posteriore, saranno necessarie modifiche estetiche tali da assecondare le modifiche meccaniche appena esposte. Si può essere più che certi, a questo proposito, che la nuova carrozzeria non implichi un aumento dei costi rispetto alla carrozzeria iniziale, in quanto la semplicità costruttiva della prima risulterà comunque molto simile a quella della seconda.

Qui di seguito ne illustriamo le particolarità:



**Figura 52. City Bumper Avveniristico senza sportelli e senza differenziale**

Ricalcoliamo così il prezzo finale:

$$\begin{aligned} \text{Prezzo finale modello avveniristico ottimizzato senza portiere e senza differenziale} = & [(8700 - 227 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 227 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] + [(8700 - 227 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 227 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] \times 15/100 + \{[(8700 - 227 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 227 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] + [(8700 - 227 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 227 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] \times 15/100\} \times 20/100 \text{ Euro} = \mathbf{8344.8 \text{ Euro}} \end{aligned}$$

Se poi addirittura sostituiamo la catena con una cinghia dentata, oltre ad ottenere un'ulteriore diminuzione dei costi (la cinghia dentata si trova sul mercato a circa 15 Euro a fronte dei 25 Euro della catena) possiamo usufruire di un migliore comfort di marcia, essendo quest'ultima molto più silenziosa. Inoltre anche le spese per la lubrificazione caleranno di molto (circa del 50%). Allora avremo che:

- a. Cinghia dentata: 15 Euro
- b. Corona: 18 Euro
- c. Pignone: 7.5 Euro
- d. Lubrificazione:  $(7.5 \text{ Euro/anno} \times 4 \text{ anni})/2 = 15 \text{ Euro}$
- e. **Totale: 55.5 Euro**

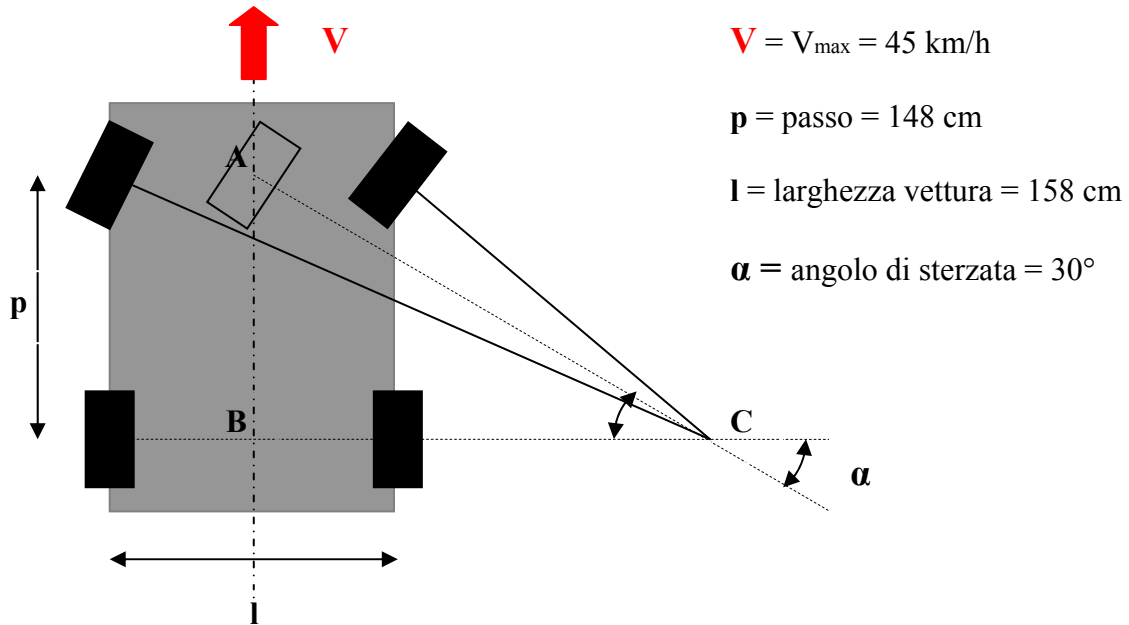
$$\text{Risparmio complessivo} = (250 - 55.5 + 57.5) \text{ Euro} = \mathbf{252 \text{ Euro}}$$

$$\text{Prezzo finale modello avveniristico ottimizzato senza portiere e senza differenziale} = [(8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] + [(8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] \times 15/100 + \{[(8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] + [(8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] \times 15/100\} \times 20/100 \text{ Euro} = \mathbf{8344.8 \text{ Euro}}$$



$$+ 573.5) + (8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] \times 15/100 + \{[(8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] + [(8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 252 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] \times 15/100\} \times 20/100 \text{ Euro} = \mathbf{8308.5 \text{ Euro}}$$

A questo punto vediamo di quanto dobbiamo accorciare il semiasse posteriore per non avere strisciamento nelle ruote posteriori mentre la vettura compie una traiettoria curva.



L'ipotesi da noi posta consiste nel considerare l'angolo massimo di sterzata, alla velocità massima del veicolo di 45 km/h, pari a  $30^\circ$ : non è infatti pensabile che la vettura debba sterzare oltre a quella velocità se il conducente vuole evitare un ribaltamento.

Procediamo con il calcolo del raggio di curvatura  $AC$ , considerando il triangolo retto  $ABC$  e sapendo che:

$$AB = p = 148 \text{ cm}; \quad AC \times \sin 30^\circ = AB \quad \Rightarrow \quad AC = (148 / \sin 30^\circ) \text{ cm} = 296 \text{ cm}$$

da cui è poi immediato ottenere anche che:

$$BC = AC \times \cos 30^\circ = (296 \times \cos 30^\circ) \text{ cm} = 256.3 \text{ cm}$$

A questo punto bisogna calcolare la velocità angolare del baricentro della vettura (per semplicità supponiamo il baricentro situato a metà dell'asse delle due ruote posteriori: questa è sicuramente un'approssimazione, ma il risultato finale non sarà molto diverso da quello reale in quanto la massa del veicolo è concentrata principalmente nella zona posteriore):

$$V = BC \times \omega \quad \Rightarrow \quad \omega = V / BC = (45 / 2.563) \times (1000 / 3600) \text{ rad/s} = \mathbf{4.88 \text{ rad/s}}$$

Questo valore ci permette di ottenere le velocità periferiche delle due ruote posteriori e calcolare così la loro differenza:

$$\text{velocità esterna: } V_{\text{est}} = \omega \times (BC + l/2) = (2.563 + 1.58/2) \times 4.88 \text{ m/s} = 16.36 \text{ m/s}$$

$$\text{velocità interna: } V_{\text{int}} = \omega \times (BC - l/2) = (2.563 - 1.58/2) \times 4.88 \text{ m/s} = 8.65 \text{ m/s}$$

da cui:

$$\Delta V = v_{\text{est}} - v_{\text{int}} = (16.36 - 8.65) \text{ m/s} = 7.71 \text{ m/s} = \mathbf{27.8 \text{ km/h}}$$

Il risultato ottenuto ci dimostra che se si vuole eliminare il differenziale è indispensabile ridurre di molto la distanza tra le ruote posteriori: vediamo di quanto.

Imponiamo un  $\Delta V$  pari al massimo a  $5 \text{ km/h}$ , cioè  $1.39 \text{ m/s}$ . Allora si dovranno avere le seguenti:

$$\text{velocità esterna: } v_{\text{est}} = (4.88 \times 2.563 + 1.39/2) \text{ m/s} = 13.2 \text{ m/s}$$

$$\text{velocità interna: } v_{\text{int}} = (4.88 \times 2.563 - 1.39/2) \text{ m/s} = 11.8 \text{ m/s}$$

da qui possiamo risalire al valore della nuova distanza  $\Delta r = r_{\text{est}} - r_{\text{int}}$ :

$$r_{\text{est}} = v_{\text{est}} / \omega = (13.2 / 4.88) \text{ m} = 2.7 \text{ m}$$

$$r_{\text{int}} = v_{\text{int}} / \omega = (11.8 / 4.88) \text{ m} = 2.42 \text{ m}$$

da cui:

$$\Delta r = r_{\text{est}} - r_{\text{int}} = (2.7 - 2.42) \text{ m} = 0.28 \text{ m} = \mathbf{28 \text{ cm}}$$

Si può allora concludere che per non avere una velocità di strisciamento tra le due ruote posteriori superiore a  $5 \text{ km/h}$ , e quindi per poter eliminare il differenziale, è necessario ridurre la distanza tra le due ruote posteriori da  $158 \text{ cm}$  a  $28 \text{ cm}$ .



#### 1.5.2.2.2 Ottimizzazione dei costi dell'impianto sterzante

Sempre partendo dal concetto che il City Bumper è un quadriciclo e che non deve e non vuole scimmiettare una vera vettura, è possibile intervenire anche sull'impianto sterzante semplificando di molto la meccanica ed ottenendo di conseguenza costi inferiori a quelli di partenza.

Questi ultimi erano pari a 200 Euro e si sostenevano per acquistare uno sterzo a cremagliera come quello rappresentato in figura qui sotto:

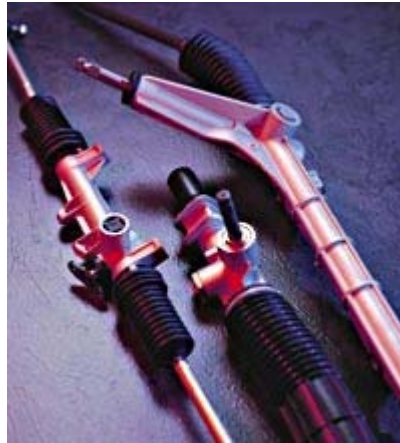


Figura 53. Sterzi a cremagliera

Con la soluzione che stiamo per descrivere, il costo sarà all'incirca pari ad un sesto di quello scritto sopra (circa 50 Euro). Tuttavia si può evincere dal seguente procedimento che, visti i carichi piuttosto ridotti ai quali sono sottoposte le ruote anteriori (vedi figura sotto), è possibile adottare uno sterzo a presa diretta come quello che viene montato sui go-kart.

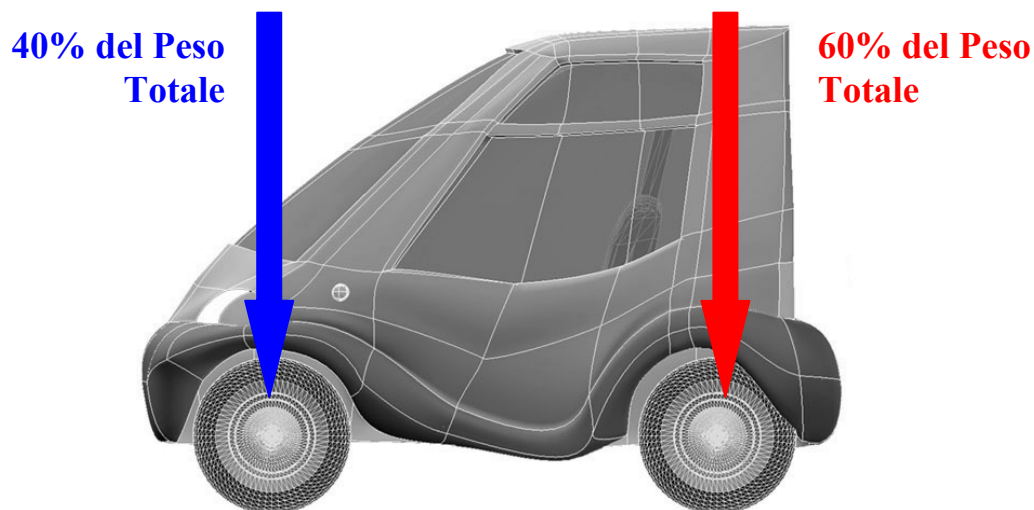


Figura 54. Distribuzione dei pesi nel City Bumper

Procediamo con i conti per vedere se la soluzione da noi ipotizzata può essere quella giusta: ciò sarà vero infatti solo se lo sforzo del conducente sul volante non sarà superiore a  $S_{max} = 7$  kg.

Peso totale senza carrozzeria = 218 kg

Peso paraurti (bumper) = 26 kg

Peso altri componenti carrozzeria = 21 kg

Peso medio essere umano = 75 kg

$$PESO\ TOTALE = 340\ kg$$

Da cui otteniamo:

$$\text{Peso totale sull'anteriore} = P_a = (340 \times 40 / 100)\ kg = 136\ kg \approx 1360\ N$$

$$\text{Peso totale su una sola ruota anteriore} = P_a/2 = P = 136/2\ kg = 68\ kg \approx 680\ N$$

Inoltre bisogna tenere presenti i seguenti dati:

Dv: diametro sterzo (parametro da dimensionare);

raggio ruota:  $r = 25\ cm$ ;

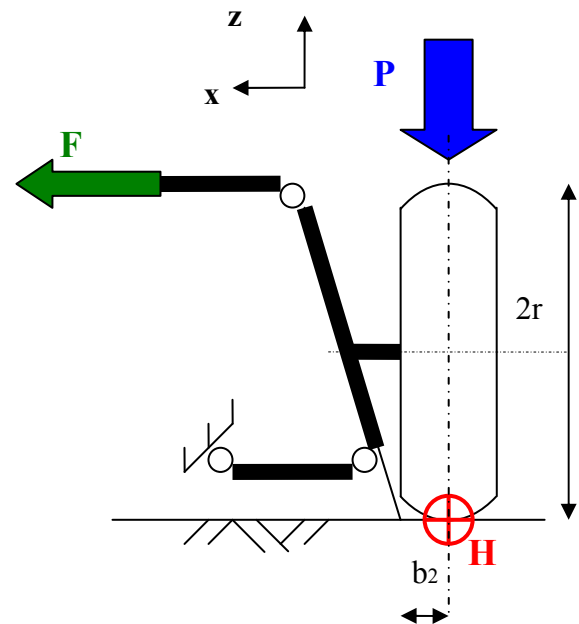
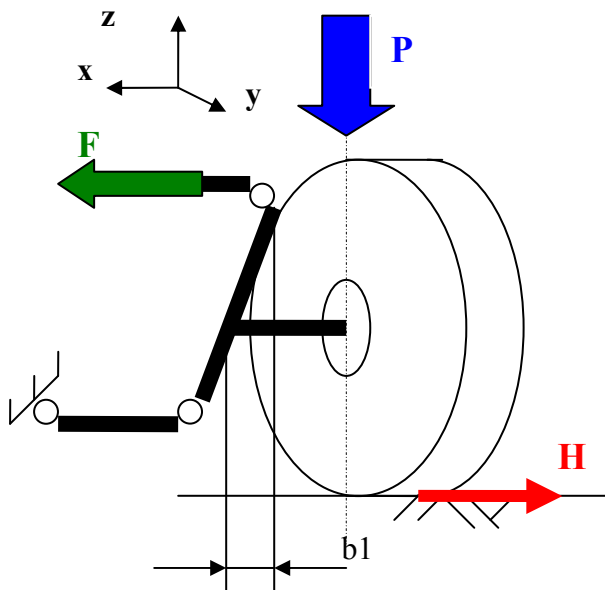
braccio  $b_2 = 2\ cm$ ;

coefficiente d'attrito:  $f = 1.5$ ;

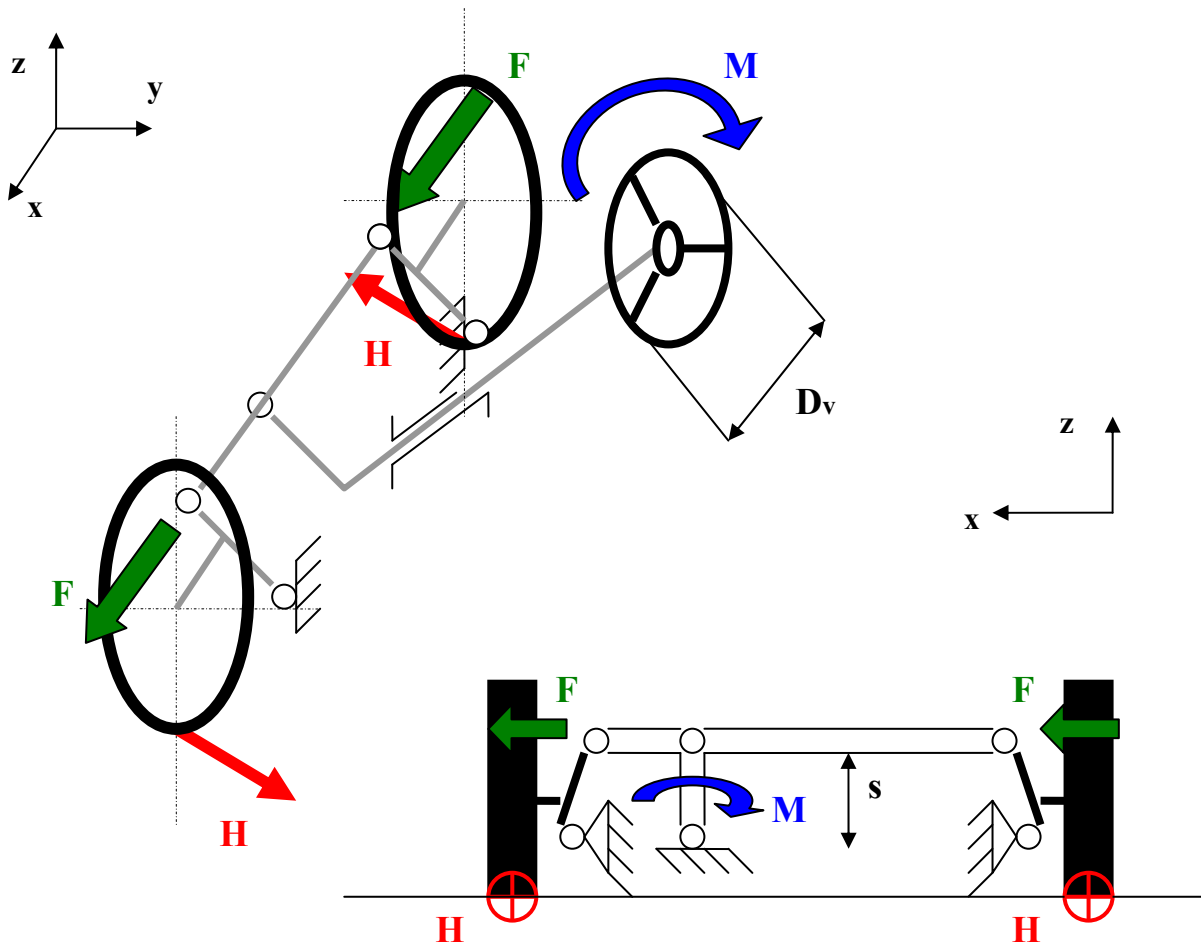
$s$ : distanza tra semiasse e piantone =  $15\ cm$ ;

braccio d'azione:  $b_1 = 25\ cm$ ;

$$H = f \times P$$



Qui sopra abbiamo mostrato lo schema “alla ruota” dell’impianto sterzante che può essere rappresentato nella sua totalità come nei disegni qui sotto, utili a comprendere meglio il funzionamento.



Per il

calcolo del diametro del volante, bisogna tenere presente la seguente equazione di equilibrio:

$$M = 2 \times F \times s \quad (1)$$

Dove:

$$M = S_{\max} \times D_v = 70 \text{ N} \times D_v \quad (2)$$

Mentre la  $F$  va calcolata a partire dalle figure sopra, considerando in particolar modo l'equilibrio alla ruota:

$$F \times b_1 = H \times b_2 \quad (3)$$

Dove:

$$H = f \times P \quad (4)$$

allora:

$$H = f \times P = (1.5 \times 680) \text{ N} = 1020 \text{ N} \quad (5)$$

Dunque:

$$F = H \times b_2 / b_1 = (1020 \times 20 / 250) \text{ N} = 82 \text{ N} \quad (6)$$

Dalla (1) si ottiene allora che :

$$M = 2 \times F \times s = 2 \times 82 \times 150 \text{ Nmm} = 24480 \text{ Nmm} \quad (7)$$

Allora è immediato ottenere che il diametro minimo del volante del City Bumper deve essere maggiore od uguale a (da (2)):

$$M \leq 70 \text{ N} \times D_v \quad (8)$$

E quindi:

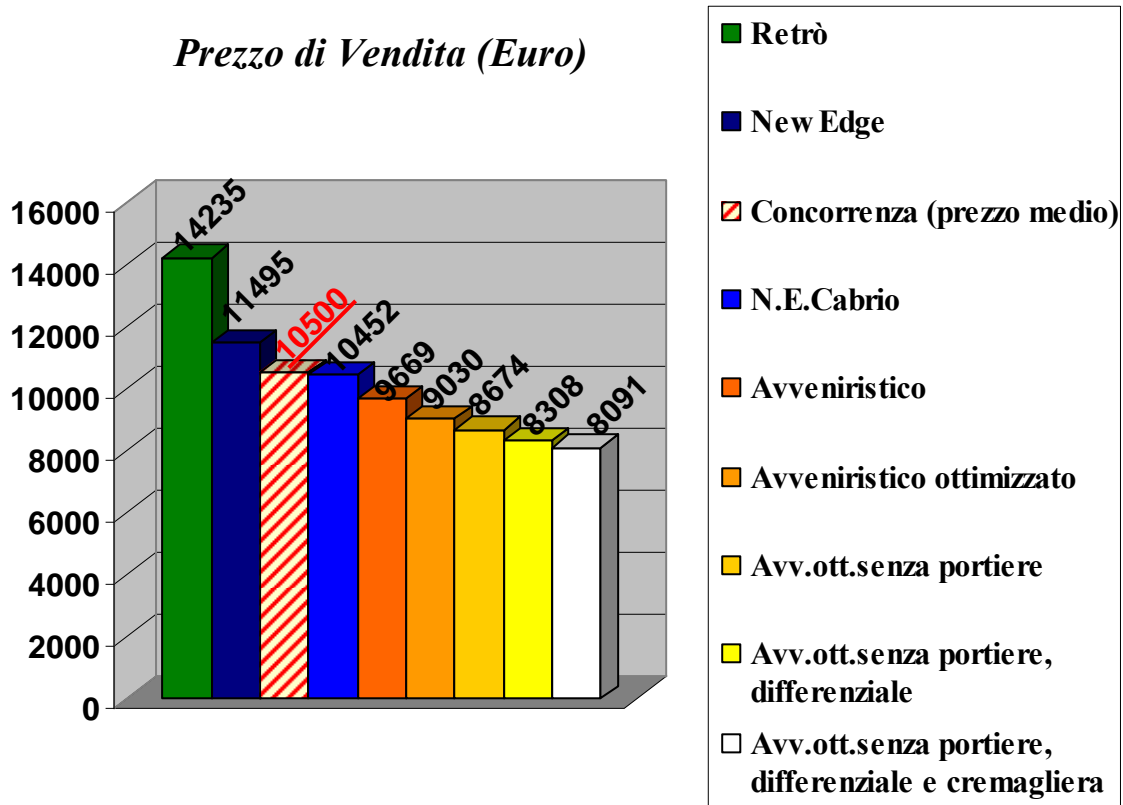
$$D_v \geq M / 70 \text{ N} = (24480 / 70) \text{ mm} = 349.7 \text{ mm} \approx \mathbf{35 \text{ cm}} \quad (9)$$

Con tale risultato si può affermare che è possibile sostituire lo sterzo, più costoso, a cremagliera con uno sterzo molto semplice a presa diretta sicuramente molto più economico. Resta allora da calcolare il prezzo definitivo della versione “super-ottimizzata” che non contempla né le portiere né il differenziale né lo sterzo a cremagliera, sapendo che, come già accennato sopra, quest’ultimo ha un costo di 200 Euro, mentre la soluzione poc’anzi calcolata di 50 Euro: il risparmio è allora pari a *150 Euro*.

*Prezzo finale modello avveniristico ottimizzato senza portiere, senza differenziale<sup>2</sup> e senza sterzo a cremagliera* =  $[(8700 - 252 - 150 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 252 - 150 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] + [(8700 - 252 - 150 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 252 - 150 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] \times 15/100 + \{[(8700 - 252 - 150 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 252 - 150 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] + [(8700 - 252 - 150 + 1212.5 - 4500 + 573.5) + (8700 - 252 - 150 + 1212.5 - 4500 + 573.5) \times 5/100] \times 15/100\} \times 20/100 \text{ Euro} = \mathbf{8091 \text{ Euro}}$ .

### 1.5.3 Conclusioni

Nell' istogramma sotto si illustra il progressivo abbattimento dei prezzi nelle versioni del City Bumper considerate, in relazione anche al prezzo medio della concorrenza.



Si possono così trarre le prime conclusioni: senza dubbio il modello Retrò risulta fuori mercato, in quanto il suo prezzo è troppo al di sopra di quello medio della concorrenza (circa 4000 Euro).

Per quel che riguarda invece il modello New Edge, abbiamo che la versione standard potrebbe essere sicuramente prodotta e, molto probabilmente, grazie al suo look molto accattivante, sarebbe anche un modello che riscuoterebbe un buon successo nella clientela, avendo un prezzo pari a poco più di 11000 Euro (è sempre un prezzo accettabile, in quanto alcuni concorrenti hanno prezzi simili, vedi "Chatenet"). Tuttavia bisogna ricordare che i volumi fissati per la produzione del City Bumper sono pari a 1000 vetture all'anno per quattro anni e, quindi, in tal caso si rischierebbe molto a proporre tale versione al mercato, in quanto i margini di guadagno, rispetto al capitale investito, sarebbero ristretti.

Meglio risulta essere la versione New Edge ottimizzata cabrio, in quanto presenta un prezzo sicuramente in linea con la concorrenza (10000 Euro circa).

Per quanto concerne invece l'Avveniristica, possiamo affermare che tutte le versioni sono ampiamente concorrenziali, in quanto vanno da un prezzo del modello standard pari a 9669 Euro a quello della versione ottimizzata senza sportelli, senza cremagliera nello sterzo e senza differenziale pari a solo 8091 Euro. Inoltre l'aspetto estetico di tali vetture risulta piuttosto simpatico ed attraente, adatto a vetture da città, che vedono tra i loro più probabili utenti i ragazzi con età compresa tra i quattordici ed i diciassette anni e le signore con età superiore ai quaranta.

Per questo motivo possiamo affermare che lo scopo iniziale del "progetto City Bumper", che ci eravamo prefissati, è stato ampiamente raggiunto: abbiamo cioè ottenuto una vettura esteticamente valida, sicura e poco costosa.

Nel capitolo successivo, verranno illustrati i disegni al CAD di tutte le versioni descritte finora.

## 1.6 Modellazione 3D: disegni CAD del City Bumper

### 1.6.1 Introduzione

Il presente capitolo ha lo scopo di illustrare i disegni dei modelli descritti ed ottimizzati precedentemente. Nei paragrafi successivi verranno inserite le immagini realizzate al computer delle tre versioni che avevamo disegnato a mano, Retrò, New Edge ed Avveniristica, con le successive elaborazioni, mirate all'ottimizzazione dei costi e della sicurezza. Prima di tutto ciò è doverosa una precisazione: il modello Retrò, essendo il più costoso dei tre studiati, e quindi fuori mercato, ci è servito come "cavia" per sperimentare il software migliore di elaborazione CAD (Computer Aided Design).

Infatti proprio del Retrò abbiamo realizzato i modellini al computer utilizzando AutoCad, un programma di disegno che si è poi rivelato non adatto alla esecuzione degli stessi: infatti tale software opera dando forma agli oggetti avvalendosi di volumi e non di superfici. Tale caratteristica tecnica non si addice particolarmente ad applicazioni di design, bensì è più adatta alla realizzazione di pezzi meccanici o prodotti architettonici.

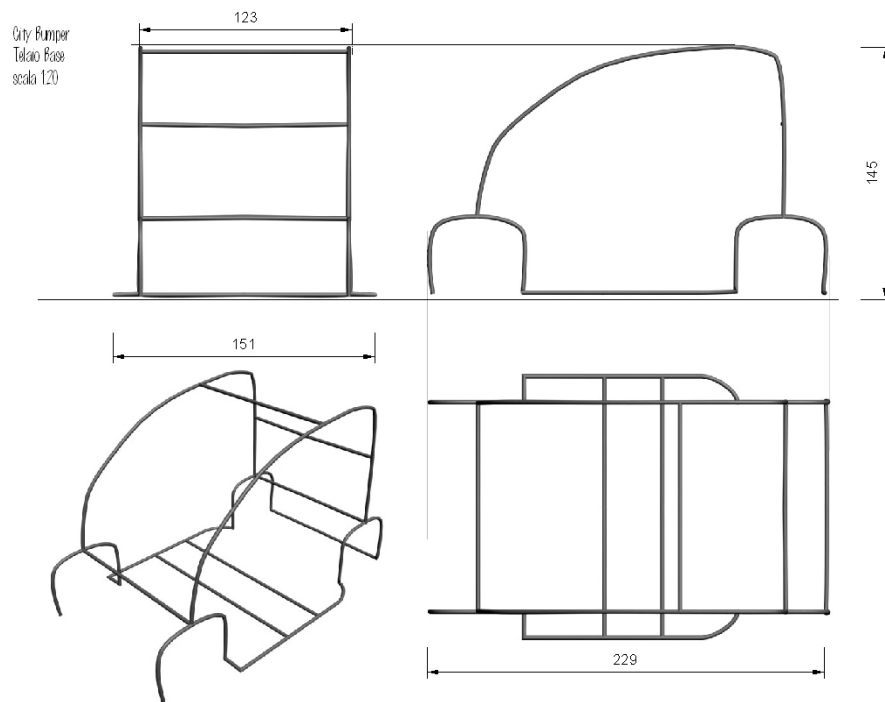


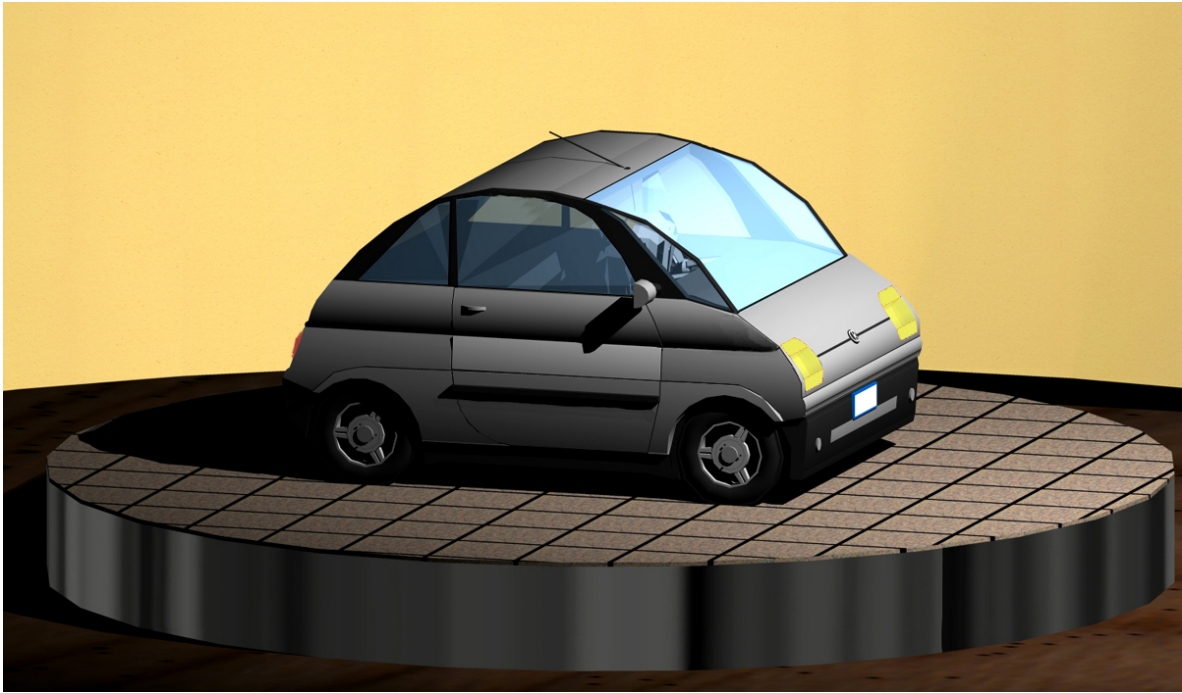
Figura 1. Telaio base

Tuttavia l'utilizzazione di questo programma ci è stata molto utile ugualmente, in quanto ci ha aiutato a capire meglio i problemi legati alla modellazione 3D; proprio per questo abbiamo pensato potesse essere interessante inserire nella presente tesi i disegni in AutoCad del modellino Retrò.

Per quel che riguarda le altre due versioni, New Edge ed Avveniristica, abbiamo utilizzato uno dei software più adatti e più in uso nelle applicazioni di design industriale: 3DS MAX. Tale software, al contrario di AutoCad, è in grado di elaborare qualunque tipo di superficie e di linea, riuscendo in tal modo a generare qualsiasi forma. Ci è stato possibile, perciò, ottenere in tre dimensioni vetture simili il più possibile a quelle che avevamo disegnato a matita, cosa che non era successa per il modello Retrò.

In figura 1, intanto, abbiamo inserito i disegni al CAD (3DS MAX) del telaio base, attorno al quale abbiamo disegnato i tre modelli: è bene precisare che di tale telaio è stata verificata la resistenza statica ed ai crash test nel capitolo 7.

### *1.6.2 Modello Retrò al CAD (AutoCad)*



**Figura 2. Modello Retrò in AutoCad: vista tre quarti anteriore**



**Figura 3. Modello Retrò: sportello sezionato con bumper in vista**





**Figura 4. Modello Retrò: prospettiva con bumper in vista**

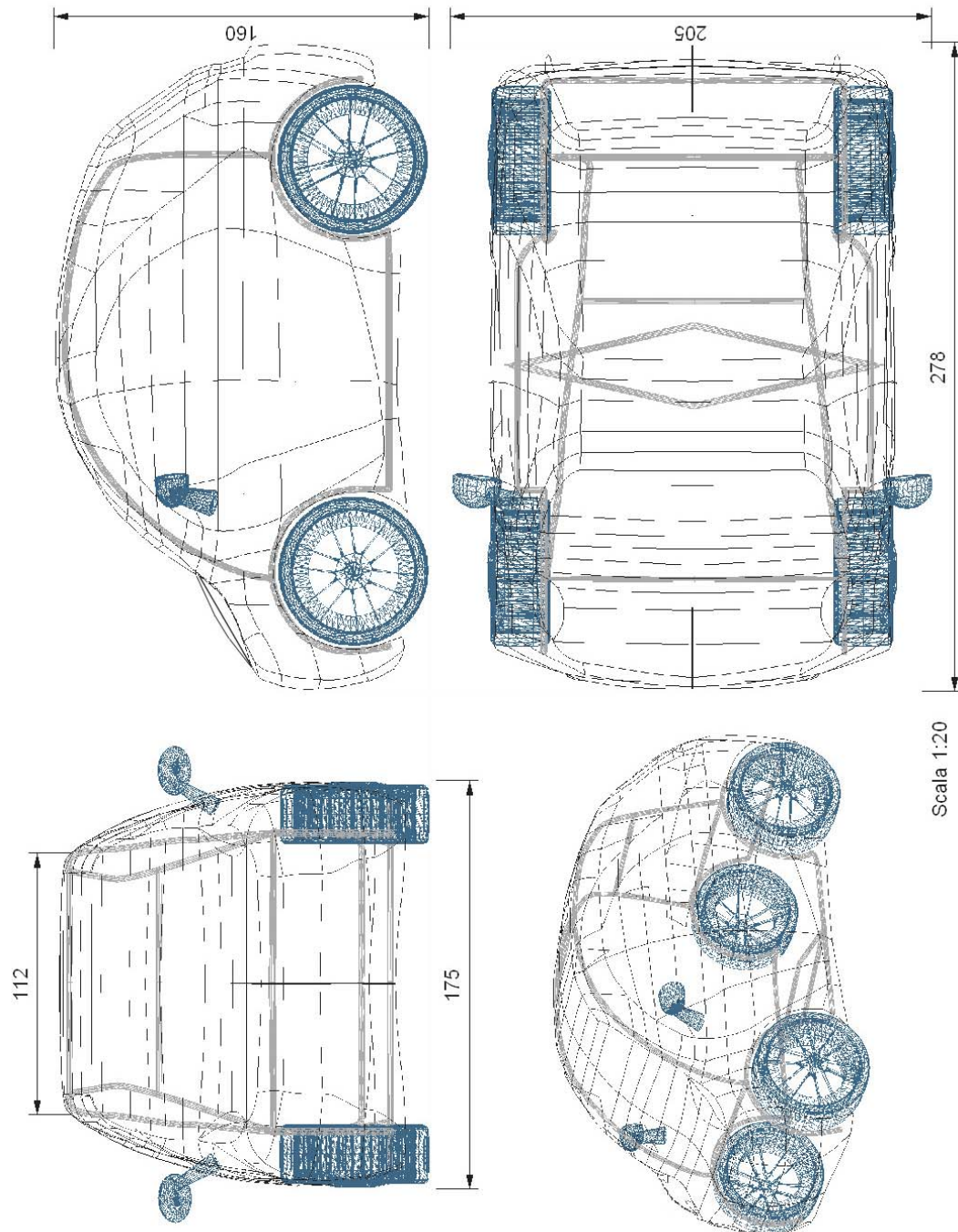


**Figura 5. Modello Retrò: vista tre quarti posteriore**

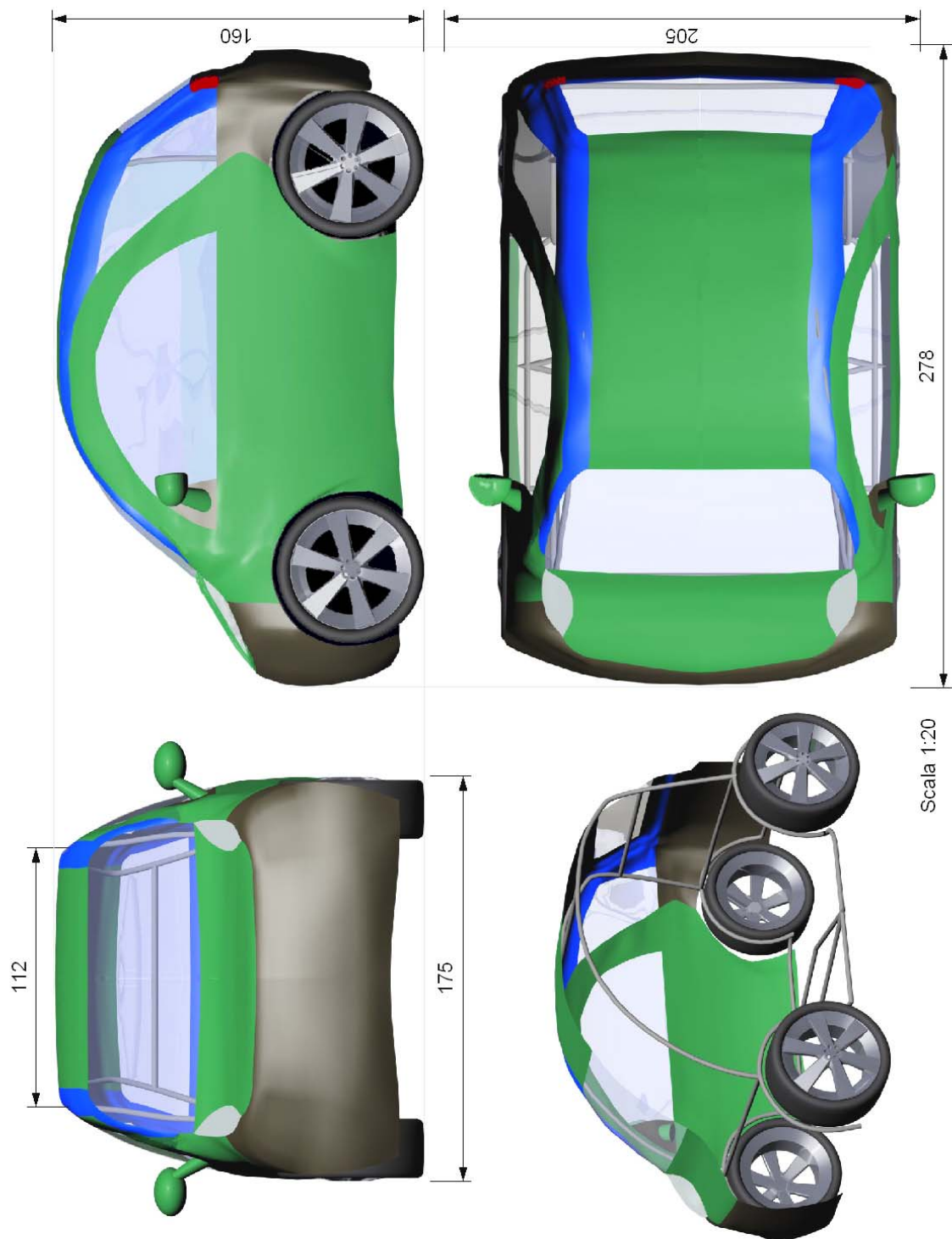


### 1.6.3 Modello New Edge al CAD (3DS MAX)

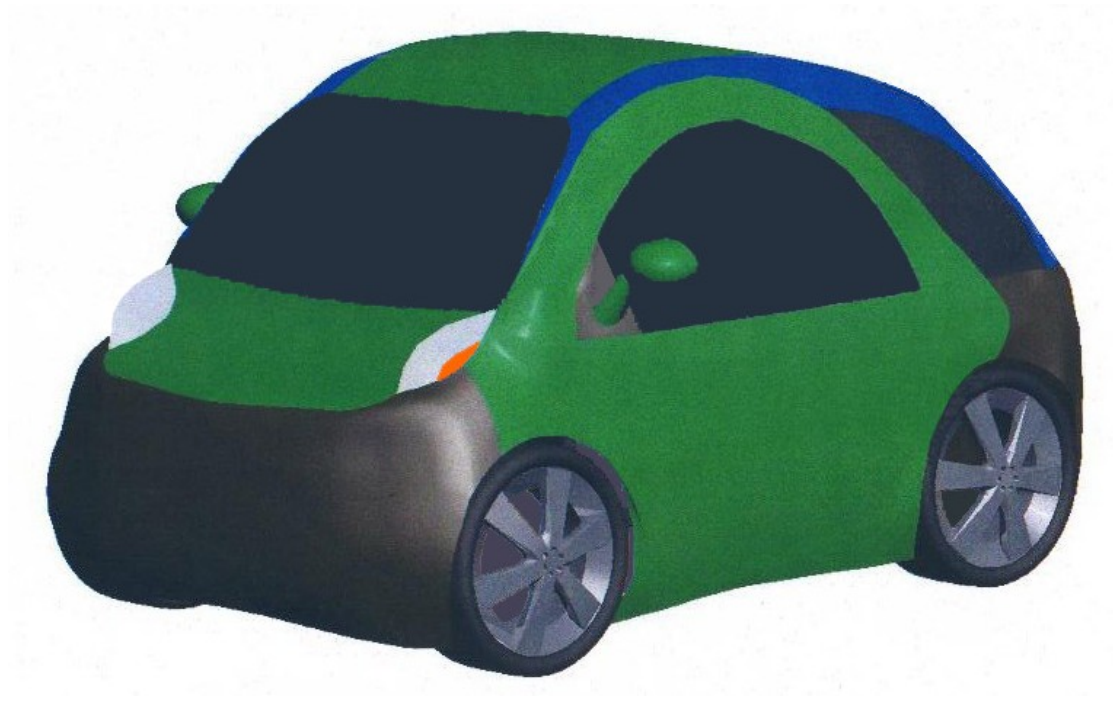
In tale paragrafo si illustrano i disegni del modello New Edge, realizzati con 3DS MAX, comprendenti sia le proiezioni in wire frame che quelle standard.



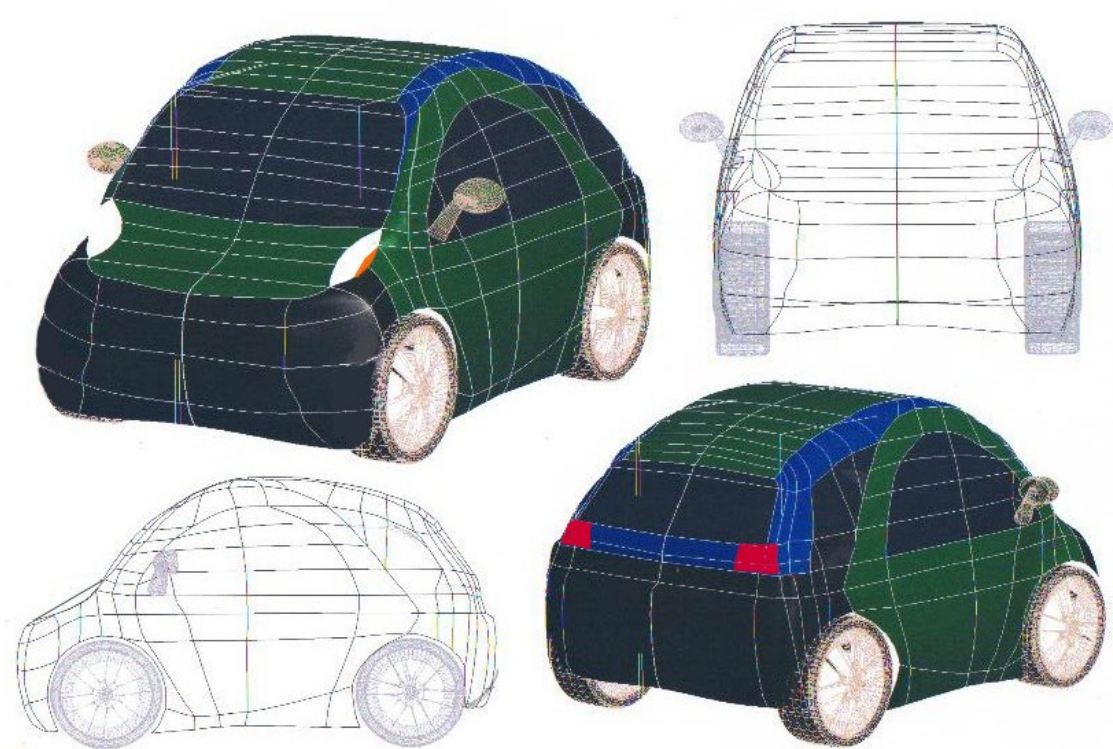
**Figura 6. Modello New Edge: proiezioni ortogonali in wire frame con telaio**



**Figura 7. Modello New Edge: proiezioni ortogonali della versione definitiva**



**Figura 8. Modello New Edge: tre quarti anteriore**



**Figura 9. Modello New Edge: tre quarti anteriore e posteriore; wire frame**



### 1.6.4 Modello Avveniristico al CAD (3DS MAX)

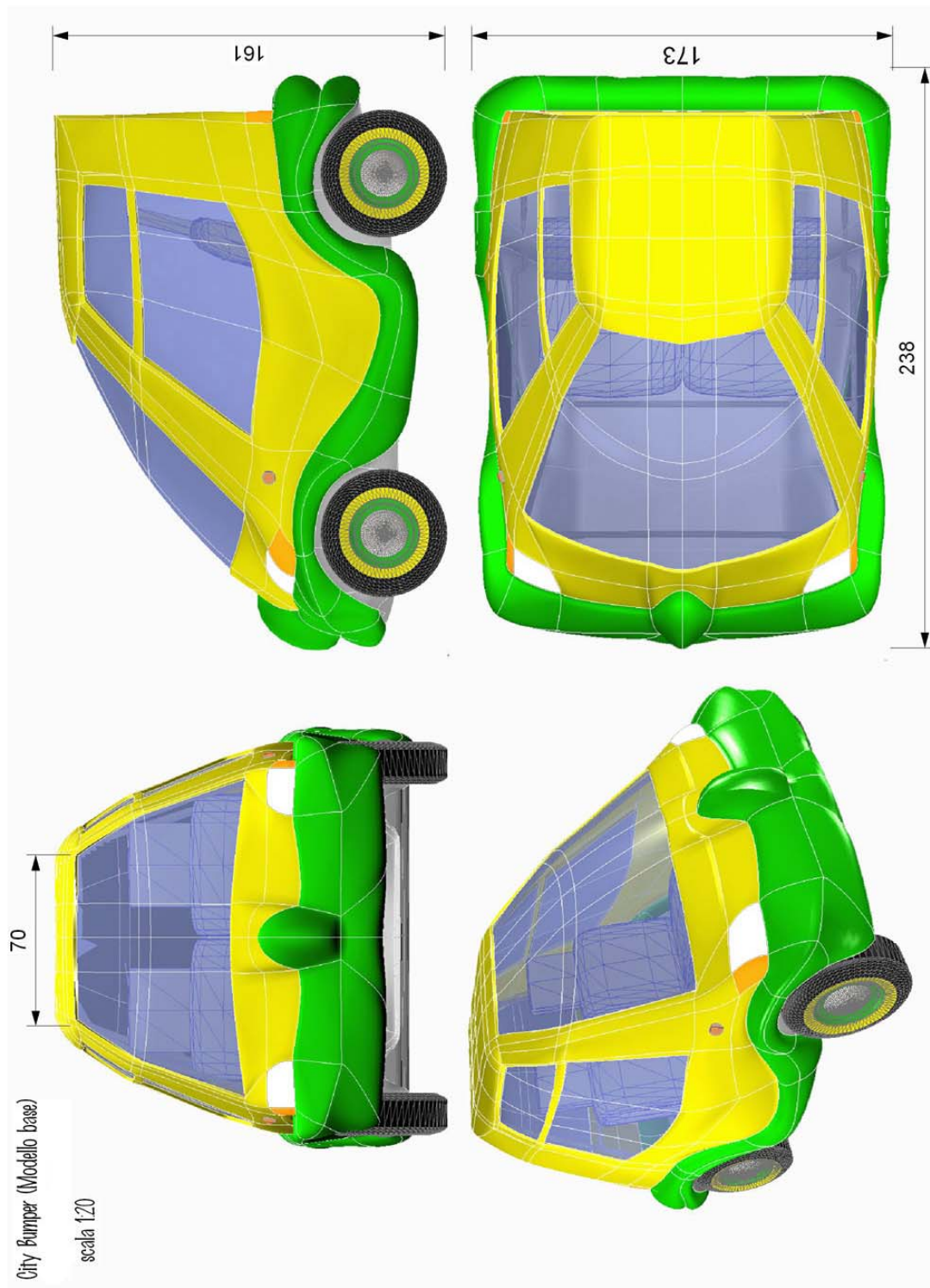
Tale versione del City Bumper è stata modificata più volte nel corso del nostro studio di progettazione, in seguito alle varie ottimizzazioni che abbiamo descritto nel capitolo precedente. Per questo, abbiamo ritenuto opportuno riportare i disegni di tutte le fasi di elaborazione dell'esemplare Avveniristico.

#### 1.6.4.1 Avveniristico

La versione di partenza doveva essere identica a quella dei disegni a matita; tuttavia, il software CAD spesso è una vera e propria verifica della fattibilità di un determinato prodotto: in pratica, se non si riesce a disegnare quest'ultimo con il computer, quasi certamente non lo si riesce neanche a costruire. Per questo motivo, quindi, i primi disegni CAD del modello Avveniristico non risultano identici a quelli sugli schizzi: infatti il veicolo rappresentato a matita creava problemi in fase di elaborazione computerizzata.



**Figura 10. Modello Avveniristico: versione iniziale**



**Figura 11. Modello Avveniristico: versione iniziale, proiezioni ortogonali**

### 1.6.4.2 Avveniristico ottimizzato 1

In tale versione è stato eliminato, nel paraurti anteriore, il “naso”, con li scopo di rendere il paraurti anteriore uguale a quello posteriore e quindi abbattere i costi.

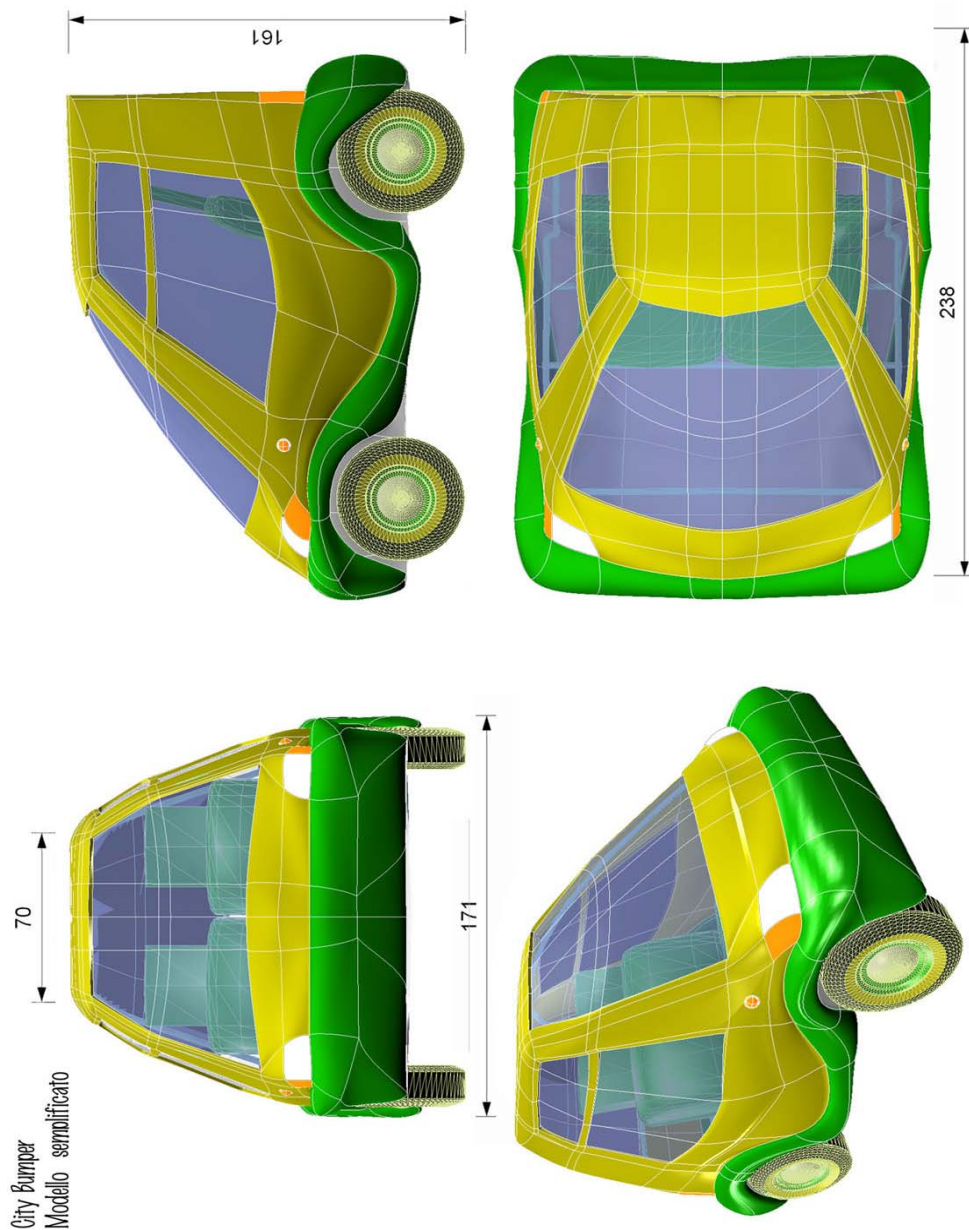


Figura.12. Modello Avveniristico: versione ottimizzata senza "naso", proiezioni ortogonali



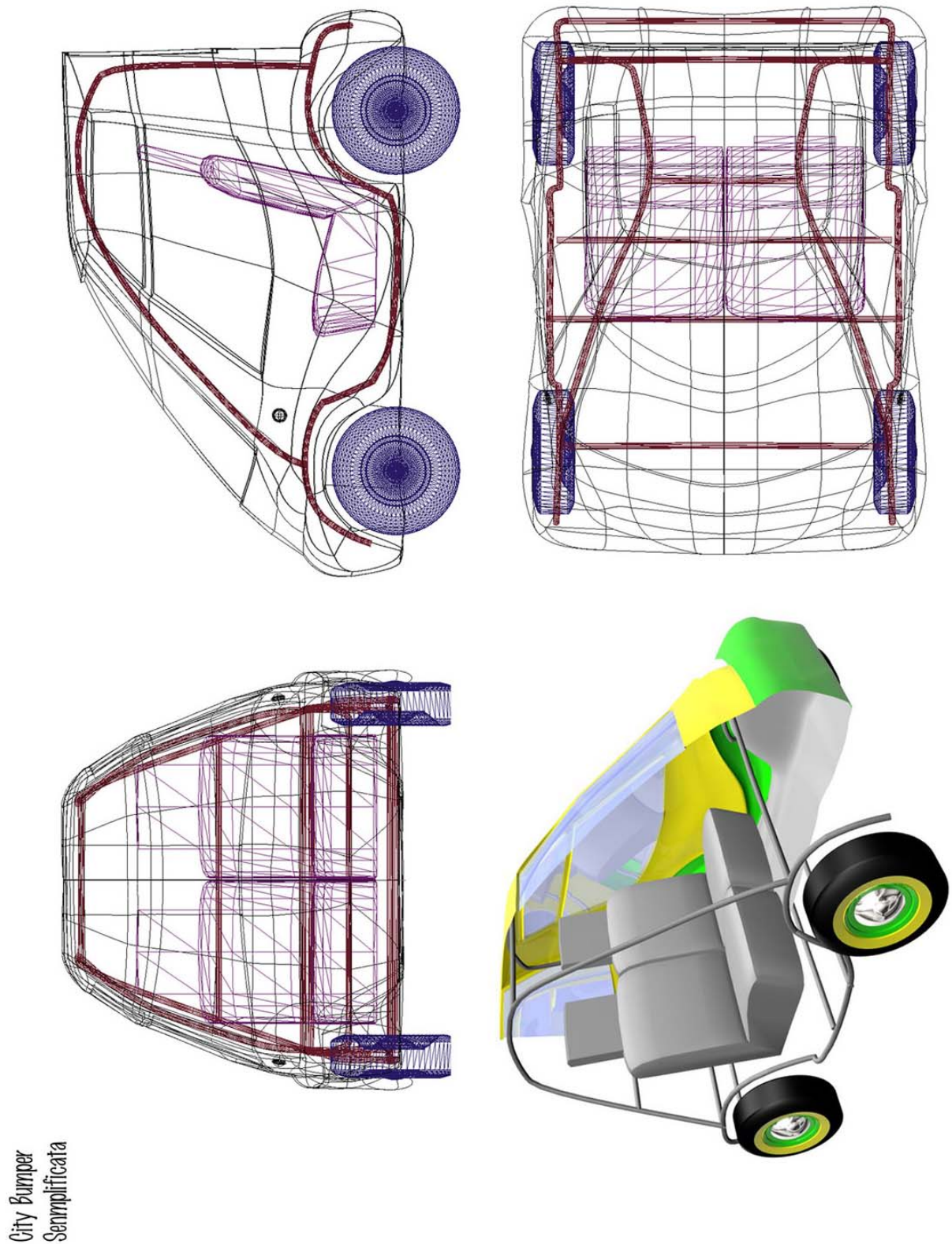
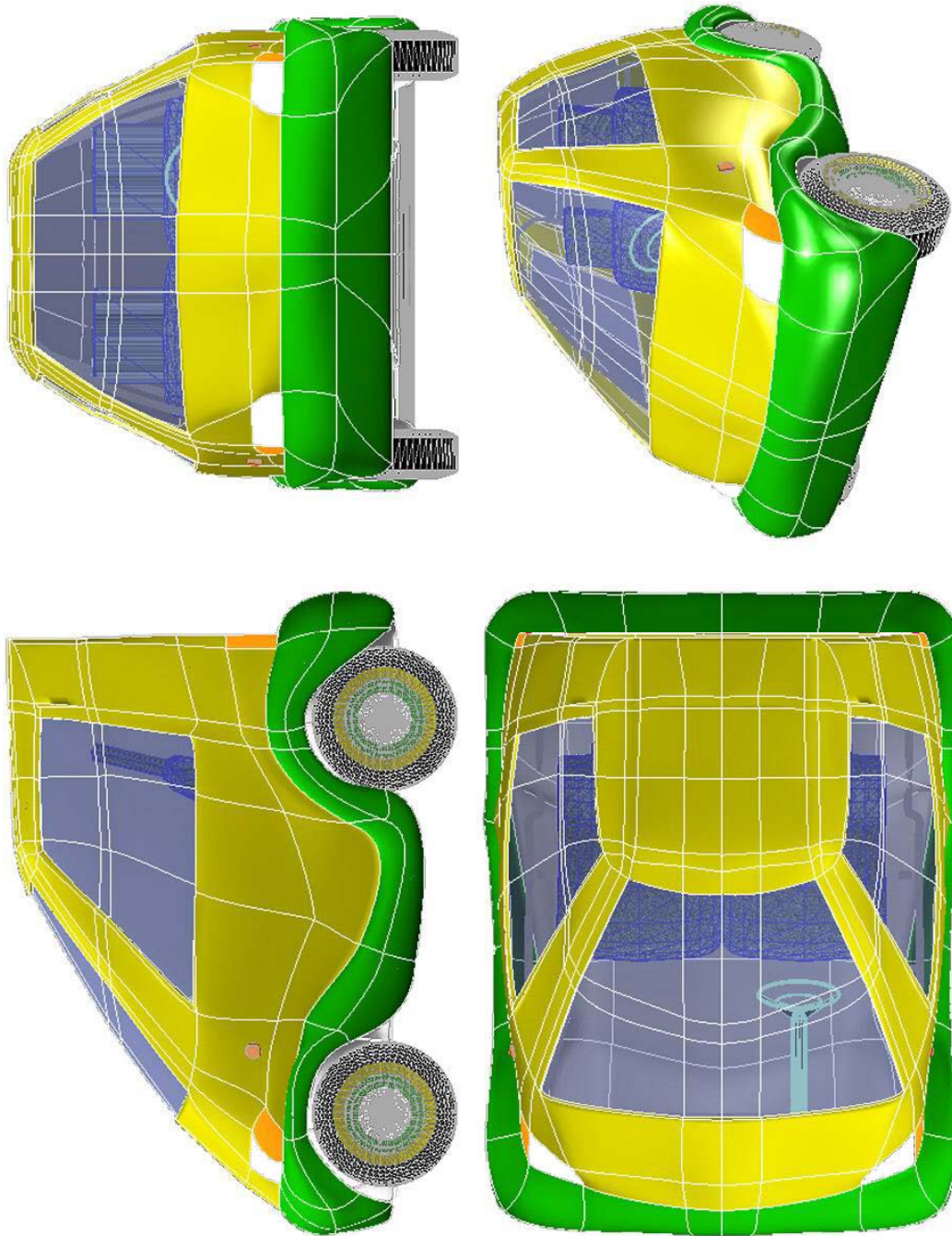


Figura 13. Modello Avveniristico: versione ottimizzata 1 in wire frame

### 1.6.4.3 Avveniristico ottimizzato 2

In base a quanto descritto nel paragrafo 11.2.1.3.1, riportiamo qui di seguito le immagini del City Bumper ulteriormente modificato.



**Figura 555. Modello Avveniristico Ottimizzato 2: pannelli più alti e più squadrati; vetri ad una sola curvatura**

Si possono notare l'utilizzo di pannelli più alti e più squadrati e di cristalli ad una sola curvatura; tali modifiche, lo ricordiamo ancora una volta, si sono rese necessarie per l'abbattimento dei costi di produzione della carrozzeria.



#### 1.6.4.4 Avveniristico ottimizzato 3

In tale versione abbiamo eliminato gli sportelli

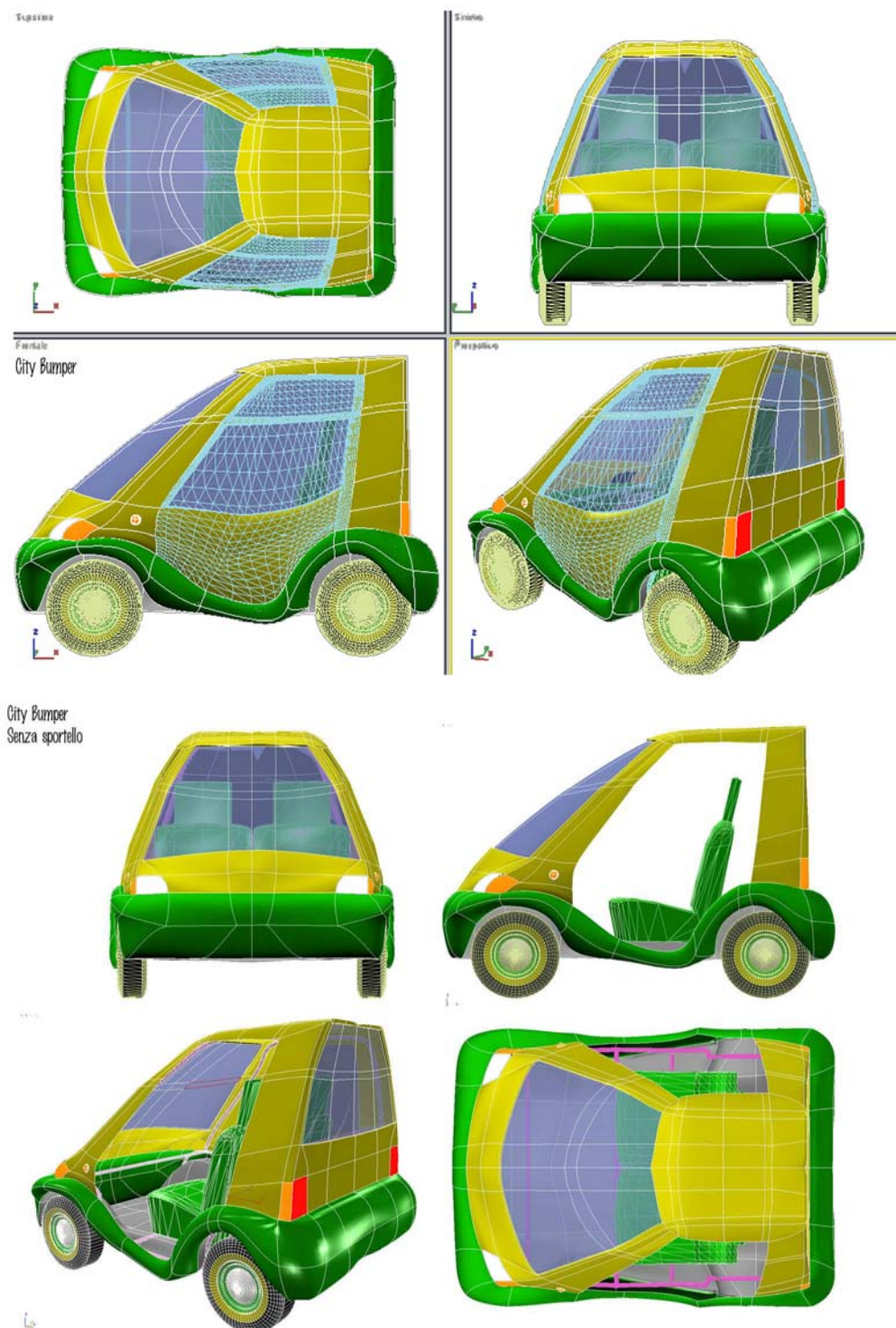
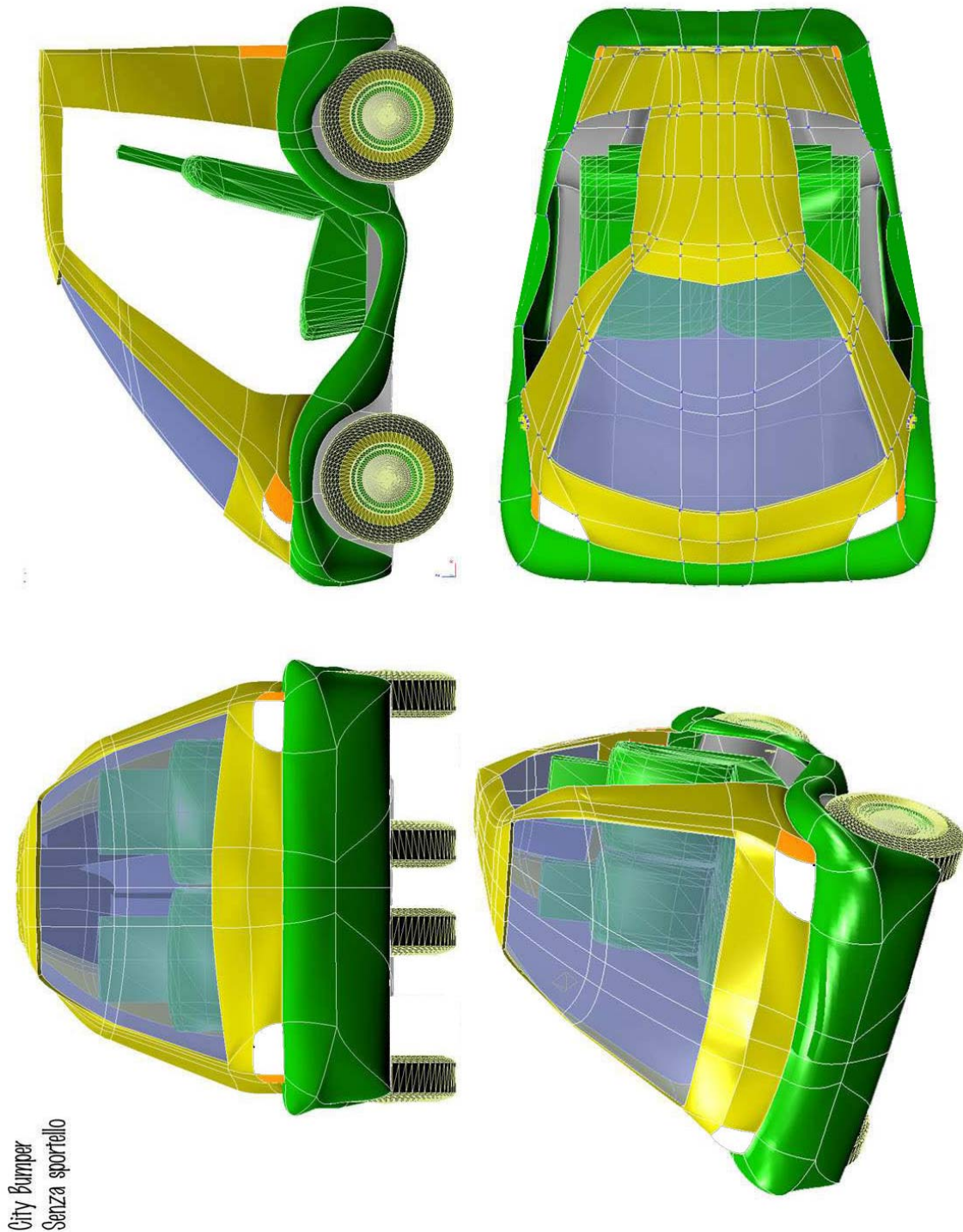


Figura 16. Modello Avveniristico: eliminazione degli sportelli

#### 1.6.4.5 Avveniristico ottimizzato 4

E' la versione più economica in assoluto: ad essa abbiamo tolto differenziale e cremagliera dello sterzo.



**Figura 17. Modello Avveniristico: versione senza differenziale e senza cremagliera**



### 1.6.4.6 Rendering

Con tale operazione si realizza un'ambientazione del veicolo da noi disegnato per renderci conto di come possa quest'ultimo collocarsi all'interno di uno spazio tridimensionale reale.



**Figura 18. Rendering 1 del City Bumper**



**Figura 56. Rendering 2 del City Bumper**

## 1.7 La Prototipazione: processo CAD-CAM

### 1.7.1 Il Procedimento

Avvalendoci dell'aiuto dell'Ing. Leonardo Orazi, grande esperto di tecnologie CAD-CAM, siamo riusciti ad ottenere, dopo parecchie ore passate a lavorare all'interno del laboratorio di design di Bertinoro, un piccolo prototipo, in poliuretano, della vettura da noi progettata.

Il procedimento che si segue per raggiungere un simile obiettivo contempla sostanzialmente tre fasi:

1. preparazione dell'hardware: è importante avere a disposizione una *work-station* costituita da due personal computer ed una fresatrice verticale, comandata da uno dei due pc;
2. preparazione dei software di gestione: nel personal computer non collegato alla fresatrice, è installato *Cimatron*, un software adatto alle applicazioni CAM; nell'altro, invece, si utilizza un'applicazione ISO che, una volta importati i dati dal primo, gestisce direttamente la macchina utensile;
3. lavorazione alla macchina utensile (fresatrice verticale): la fresatrice lavora il pezzo con un sistema di movimentazione lungo i tre assi  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

### 1.7.2 Le Fasi del Lavoro

Dopo aver sistemato tutti i componenti della *work-station*, abbiamo importato in *Cimatron*, software adatto alle applicazioni CAM, la geometria del nostro City Bumper; dopodichè abbiamo inserito i dati relativi al grezzo ed alla lavorazione da eseguire su di esso.

Il programma ha così creato il percorso per l'utensile, comprendendo automaticamente quali volumi di poliuretano erano da asportare e quali no.

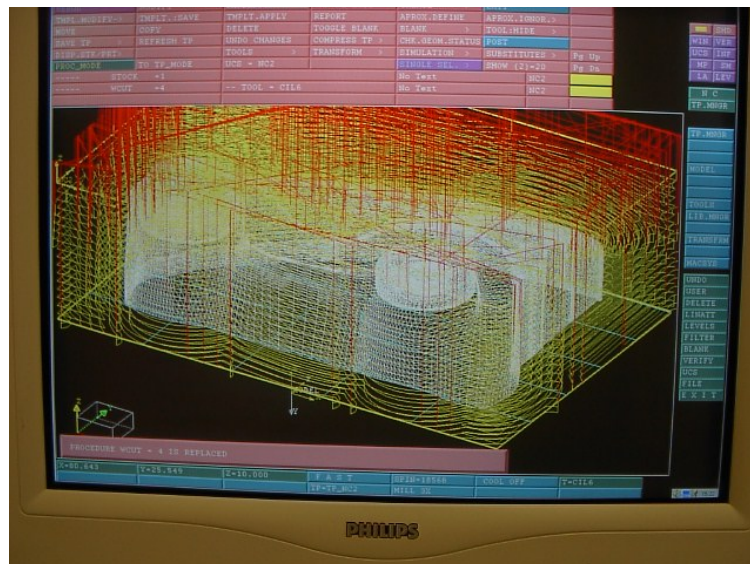


Figura 57. La work-station



**Figura 58. Leonardo Frizziero e l'Ing. Leonardo Orazi al lavoro nel laboratorio di design di Bertinoro**

Una volta sistemata la procedura di lavorazione con Cimatron, è stato necessario trasferire i dati in un altro pc, atto alla gestione della fresatrice.



**Figura 59. I percorsi di lavorazione dell'utensile creati da Cimatron**

A questo punto la fresatrice ha cominciato il suo lavoro di asportazione del truciolo, finchè il modellino non è stato completato.

Importante, infine, è ricordare che abbiamo avuto bisogno di due frese diverse:

- ✓ la prima standard, utile per la sgrossatura e per la prima rettifica;
- ✓ la seconda a testa sferica, per la seconda rettifica.





**Figura 60. Momenti di lavoro alla work-station**



**Figura 61. Lavorazione alla macchina utensile**



**Figura 62. Maquette del City Bumper in poliuretano fresato**

## 1.8 Conclusioni

Gli obiettivi del presente capitolo, già indicati nell'introduzione, possono essere elencati qui di seguito:

- ✓ acquisizione di una metodologia di design;
- ✓ analisi degli stili predominanti sul mercato automobilistico di ieri e di oggi;
- ✓ proposte di varie soluzioni estetiche del City Bumper secondo gli stili più in voga;
- ✓ scelta di uno dei modelli proposti in base al minor peso delle strutture di protezione ed, allo stesso tempo, del maggior volume d'aria in esse contenute;
- ✓ analisi dei costi del "sistema autovettura" in generale;
- ✓ ottimizzazioni delle varie versioni di City Bumper in base a tale analisi;
- ✓ valutazione del prezzo di vendita delle vetture presentate;
- ✓ confronto tra i nostri prezzi e quello medio dei quadricicli proposti dalla concorrenza;
- ✓ ottenimento di un prezzo di vendita più basso del prezzo medio delle vetture concorrenti;
- ✓ definizione dell'estetica finale del veicolo ottimizzato;
- ✓ esecuzione di un rendering;
- ✓ realizzazione di un prototipo.

Per quel che riguarda la metodologia di design, per realizzare il nostro City Bumper ci siamo ispirati a quella utilizzata nelle principali aziende del settore, quali Pininfarina ad esempio: tale metodologia è stata descritta in maniera piuttosto dettagliata nel Capitolo 8.

Il primo punto della stessa riguardava una piccola analisi del mercato, orientata ad individuare le forme più in voga al momento: pur essendo innumerevoli le mode attuali, siamo riusciti a identificare nello stile Retrò (vedi Volkswagen New Beetle, BMW Mini, Chrysler Pt Cruiser, ecc.), nello stile New Edge (vedi Ford Ka e Focus, Mazda, Peugeot 307, ecc.) e nello stile Avveniristico (vedi Fiat Multipla, Renault Avantime e Vel Satis, ecc.) i riferimenti principali per i designer internazionali. Così abbiamo realizzato tre modelli, tramite schizzi a matita e proiezioni ortogonali, che potessero ispirarsi ai suddetti stili. Poi, non potendo limitare la nostra scelta in base ad un semplice gusto estetico, abbiamo definito due criteri di selezione: il primo consistente sia nel riconoscimento della geometria contenente la più elevata quantità d'aria nelle zone di protezione (in riferimento al brevetto su cui si basa il City Bumper); sia della zona meno pesante.

Il secondo, invece, si è proposto di calcolare, dopo un'attenta analisi dei costi dell'autovettura, il prezzo finale dei modelli esaminati.

Dopo una prima serie di conti, abbiamo ottenuto i seguenti risultati:

### Modello Retrò:

- ✓ *Capacità Massima Totale:* **secondo** (1280,6 litri);
- ✓ *Capacità Specifica:* **primo** nella zona laterale (0.03038 litri/cm<sup>2</sup>), mentre **terzo** nelle altre due (0.04250 litri/cm<sup>2</sup> davanti e 0.03526 litri/cm<sup>2</sup> dietro);
- ✓ *Peso Zone di Protezione:* **secondo** (27 kp);
- ✓ *Prezzo Finale:* **terzo** (più di 14000 Euro)
- ✓ Non è competitivo: carente nella sicurezza e nei costi.

### Modello New Edge:

- ✓ *Capacità Massima Totale:* **primo** (1513,2 litri);
- ✓ *Capacità Specifica:* **primo** nelle zone anteriore e posteriore (0.04669 litri/cm<sup>2</sup>), **secondo** lateralmente (0.02593 litri/cm<sup>2</sup>);
- ✓ *Peso Zone di Protezione:* **terzo** (32 kp);
- ✓ *Prezzo Finale:* **secondo** (poco più di 11000 Euro).

- ✓ Piuttosto competitivo: ottime prestazioni in ambito di sicurezza (massimi volumi) nel prezzo finale.

#### Modello Avveniristico:

- ✓ *Capacità Massima Totale:* **terzo** (1241 litri);
- ✓ *Capacità Specifica:* **secondo** nelle zone anteriore e posteriore (0.04299 litri/cm<sup>2</sup>), **terzo** lateralmente (0.02528 litri/cm<sup>2</sup>);
- ✓ *Peso Zone di Protezione:* **primo** (26 kp);
- ✓ *Prezzo Finale:* **primo** (circa 9000 Euro);
- ✓ *Molto competitivo:* prezzo molto basso, nettamente sotto la concorrenza.

L'ottimizzazione dei costi l'abbiamo fatto per quel che riguarda il modello New Edge, in quanto sia esteticamente che tecnicamente ci è sembrato molto valido; tuttavia, anche ottimizzandolo con la realizzazione di pannelli simmetrici e la eliminazione del tetto, non siamo riusciti ad ottenere un prezzo inferiore ai 10000.

Così ci siamo occupati esclusivamente del modello Avveniristico, apportando le seguenti modifiche (estetiche e meccaniche):

- ✓ sostituzione del parabrezza con due curvature con uno più economico ad una singola curvatura;
- ✓ realizzazione di un paraurti identico sia per il frontale che per il posteriore;
- ✓ diminuzione delle dimensioni dei vetri;
- ✓ sostituzione degli sportelli con metrature ampie e pannelli ben sagomati con altri sportelli più semplici esteticamente (in seguito si è pensato addirittura di eliminare gli sportelli stessi);
- ✓ sostituzione dei fari ideati inizialmente, di geometria molto complicata, con fari molto più semplici e commerciali;
- ✓ eventuale integrazione degli specchietti nei montanti anteriori;
- ✓ eliminazione del differenziale con successiva sostituzione dello stesso con un gruppo "corona-cinghia dentata-pignone";
- ✓ eliminazione della cremagliera dallo sterzo con sostituzione della stessa con sistema sterzante a presa diretta, come quello dei go-kart.

Grazie a tutti questi interventi abbiamo raggiunto un eccellente risultato: avere un quadriciclo con un prezzo di vendita di circa 8000 Euro, ben 2500 Euro in meno del prezzo medio della concorrenza.

Dopo le due analisi descritte sopra, abbiamo continuato il progetto con i disegni CAD; tali disegni sono stati realizzati per tutti e tre i modellini, anche se con software differenti.

Per quel che riguarda il modello Retrò, il modello al CAD è stato realizzato per capire se il software che stavamo usando (AutoCad) fosse adatto. Purtroppo così non è stato, poichè con AutoCad i risultati sono stati pessimi, poichè tale programma non lavora con le superfici, ma con i volumi.

Così siamo passati a 3DS Max, che invece si è dimostrato più che idoneo alle applicazioni come la nostra. Con esso abbiamo disegnato sia il modello New Edge iniziale che i modelli Avveniristici, a partire da quello originario fino a quelli ottimizzati. Questo perché abbiamo voluto portare avanti tutte le soluzioni che presentavano un prezzo concorrenziale e quindi vedere quale effetto facessero in tre dimensioni.

Infine abbiamo realizzato un rendering (ambientazione della nostra auto) ed un modellino in poliuretano della nostra vettura, grazie all'utilizzo della tecnologia CAD-CAM. Queste ultime due fasi del lavoro si sono rese necessarie per renderci conto meglio della tridimensionalità del City Bumper.



# ***Capitolo 2:***

## ***Progettare per la funzionalità***

## 2.1 Coffee-cup: progetto funzionale di macchina per il caffè

### 2.1.1 Introduzione

“Progettare non è una attività solo scientifico-tecnica, ma anche umanistica. Nella progettazione si realizza la sintesi tra due culture perché non esiste oggetto o processo pensato dall'uomo che non sia concepito e prodotto per altri uomini, dall'utensile più umile al sistema più sofisticato. L'attività di progettazione coinvolge tutte le capacità dell'essere umano e tutta la sua cultura ed ogni sistema realizzato entra nel panorama, nella storia e nell'habitat umani”. (Prof. Alessandro Freddi, Università di Bologna)

Prendendo spunto da questi importantissimi concetti e dovendo con la presente trattazione affrontare l'iter progettuale di una macchina da caffè per uso casalingo, il sottoscritto ha ritenuto opportuno realizzare una breve ricerca (*con l'ausilio di quanto pubblicato dall'Illy Caffè sul proprio sito internet*), quale chiarificazione del compito, che trattasse quanto più approfonditamente tutte le tematiche legate al caffè: la natura del prodotto, le sue caratteristiche, le sue proprietà, i mezzi ed i metodi per lavorarlo e per imbandirlo, i vari strumenti e le macchine, già esistenti, per prepararlo.

### 2.1.2 Analisi dell'ambiente

(Il caffè)

#### 2.1.2.1 La scoperta del caffè

Se le origini della pianta di caffè risalgono a tempo immemorabile, anche la scoperta delle sue proprietà è un evento avvolto da molte leggende. Un dato su cui tutti gli storici sembrano essere d'accordo è il luogo di nascita del caffè: la regione abissina di *Kaffa*.

Tuttavia, nonostante l'assonanza, il nome della pianta e della bevanda non derivano da questa località, ma dalla parola araba *qahwah*, che significa "bevanda ottenuta dalla pianta". Grazie alle sue caratteristiche, il caffè si è diffuso in tutto il mondo, anche se il modo in cui viene consumato varia molto da una cultura all'altra. In una sola parola il caffè cela un mondo estremamente complesso: la pianta, il frutto, la miscela tostata e, infine, la bevanda.

Una leggenda sul caffè narra che un pastore abissino di nome Kaldi scoprì gli effetti stimolanti della pianta, vedendo le sue pecore tutte eccitate, dopo aver mangiato i frutti di questo particolare arbusto.



#### 2.1.2.2. Un mondo nascosto: la coltivazione

Caffè, caffè... e ancora caffè: la pianta, il frutto, il chicco, la miscela tostata e, infine, la bevanda. Dietro la semplice parola "caffè" si cela un mondo nascosto, che inizia con due piante della stessa famiglia botanica, ma di natura differente.

Infatti, la *Coffea arabica* e la *Coffea canephora*, comunemente note come Arabica e Robusta producono caffè di qualità ben diverse. Gran parte della produzione mondiale è di queste specie, ma l'Arabica è più diffusa del Robusta e rappresenta circa tre quarti della produzione mondiale.

Anche se i chicchi tostati delle due specie sono molto simili, vi sono differenze marcate tra le due piante, i loro semi e la bevanda finale.

### 2.1.2.3 Tecniche di coltivazione

Le tecniche di coltivazione variano da luogo a luogo, a seconda del clima, della disponibilità di forza lavoro e della tecnologia. Dalla disponibilità della manodopera dipende il modo in cui vengono piantate le piante e quindi la densità della piantagione. Anche altre attività, quali la potatura e l'eliminazione delle infestanti, vengono eseguite diversamente a seconda delle abitudini locali dei lavoratori. La densità di una piantagione è definita come lo spazio che separa le singole piante nei filari, e i filari tra di loro. Non esiste una correlazione diretta tra densità e produttività, poiché una densità elevata può essere di impedimento a operazioni quali la pulizia del terreno, la fertilizzazione e la raccolta. Quando la raccolta avviene in modo meccanizzato, i filari devono essere più spaziosi in modo da consentire i movimenti dei trattori; in altri casi le piante possono essere sistemate più fitte. La **potatura**, sebbene favorisca la formazione di una chioma aperta e meglio aerata, viene praticata raramente nelle piantagioni di caffè a causa dell'elevato impiego di mano d'opera necessario. Si interviene con la potatura soltanto quando gli arbusti tendono a crescere eccessivamente in altezza impedendo la raccolta senza l'ausilio di scale: i rami più alti vengono tagliati per tenere la pianta approssimativamente entro i 2 metri di altezza. L'eliminazione delle **infestanti** impedisce che queste, crescendo fra le piante di caffè, sottraggano acqua e nutrienti. Questa operazione inoltre facilita la manutenzione e le operazioni di raccolto, e impedisce altresì la crescita di muffa sulle ciliegie cadute. L'eliminazione dei **parassiti** è importante per migliorare la qualità del raccolto e del prodotto, e spesso è addirittura necessaria per assicurare la sopravvivenza della piantagione. Le piantagioni di caffè sono spesso situate in regioni abbastanza primitive. Nei casi in cui si possano utilizzare mezzi tecnologici moderni, vengono usati **pesticidi** e **fertilizzanti chimici** per incrementare il raccolto. L'utilizzo di letame o di fertilizzanti chimici è piuttosto raro. A volte vengono semplicemente distribuite tra i filari le piante infestanti che sono state eliminate o le ciliegie del caffè scartate durante la lavorazione. Naturalmente il terreno si esaurisce se per molti anni al caffè non vengono alternate coltivazioni diverse.



### 2.1.2.4 Geografia

Il caffè può crescere in qualunque regione della fascia tropicale ed equatoriale, purché l'acqua sia sufficiente e la temperatura non scenda sottozero.

Le gelate sono gli eventi climatici più pericolosi per le piantagioni di caffè. Nonostante siano rare (alle latitudini comprese fra i 20° nord e sud si verificano in media una volta ogni vent'anni), una notte fredda con temperatura sotto lo zero è sufficiente a causare un'estesa defogliazione dalla quale le piante si riprendono molto difficilmente.



Oltre che dalla latitudine, la possibilità di gelate dipende anche dall'altitudine della piantagione e dalle condizioni locali di vento e piovosità. Alcune nicchie climatiche – regioni collocate a determinate altitudini, con particolari condizioni di piovosità, irradiazione solare, vento e tipo di suolo – presentano delle caratteristiche favorevoli allo sviluppo delle piante di caffè, e permettono quindi di ottenere una buona raccolta e un prodotto di qualità. Nelle zone a clima tropicale – alle latitudini tra 24° e 10° nord e sud – il caffè Arabica cresce a un'altitudine modesta (inferiore a 1000 metri sul livello del mare) e, grazie all'alternarsi delle stagioni, è possibile ottenere un raccolto all'anno. Nelle zone a clima equatoriale – alle latitudini intorno all'equatore comprese tra i 10° di latitudine nord e sud – il caffè Arabica cresce ad altitudini più elevate (da 1500 a

2500 metri sul livello del mare), mentre il caffè Robusta riesce a svilupparsi anche in pianura nelle foreste pluviali.

#### 2.1.2.5 Clima

La grande varietà climatica che caratterizza le regioni di produzione del caffè è all'origine delle diverse tecniche di coltivazione: la differenza più importante è tra campi esposti al sole e piantagioni ombrose sotto le fronde della foresta. In alcune aree è addirittura necessaria l'irrigazione artificiale. Nelle regioni tropicali, di solito il caffè viene coltivato in campi esposti per approfittare della massima irradiazione solare. La successione annuale di stagioni fredde e piovose e di stagioni secche e calde assicura le migliori condizioni per la crescita, nonché l'assenza di umidità durante la raccolta e la lavorazione.



Nelle zone equatoriali, invece, le piantagioni di caffè devono venire protette dall'eccessivo calore del sole, e gli arbusti di caffè vengono piantati all'ombra di alberi più alti. A volte vengono scelte delle specie di alberi che presentando una caduta spontanea delle foglie sincronizzata con il ciclo vegetativo del caffè, in modo che il caffè rimanga in ombra durante la crescita delle ciliegie e in pieno sole durante la maturazione.

L'irrigazione artificiale è costosa, e può essere praticata soltanto in piantagioni particolari o sperimentali (Australia, Brasile) dove si utilizzano tecniche di agricoltura intensiva.

#### 2.1.2.6 Classificazione

Le piante di caffè appartengono alla classe delle dicotiledoni, e al raggruppamento delle fanerogame. Il genere *Coffea*, della famiglia *Rubiaceae*, abbraccia un moltitudine di specie selvatiche. Le specie coltivate più importanti sono la *Coffea arabica*, comunemente detta Arabica e la *Coffea canephora*, meglio conosciuta come Robusta.

Le fanerogame hanno gli organi riproduttivi – fiori e frutti – visibili, a differenza delle crittogame (alghe, funghi) i cui organi riproduttori sono nascosti. La differenza più evidente tra dicotiledoni e monocotiledoni è che le dicotiledoni hanno un numero pari di petali nel fiore e non presentano radici bulbose. Molte piante familiari, tra cui molti alberi e fiori comuni, appartengono a questa classe; la classe dei monocotiledoni comprende molte graminacee e cereali, nonché fiori come i gigli e i tulipani. La famiglia delle *Rubiaceae* comprende varie piante perenni, alcune delle quali – come il tè che appartiene al genere *Camelia* – contengono caffeina.

### 2.1.2.7 Arabica

La Coffea arabica è nata da una mutazione spontanea di razze preesistenti che hanno raddoppiato il numero di cromosomi nella cellula.

Dalla mutazione sono derivate una serie di caratteristiche distintive, che elenchiamo qui sotto.

I cromosomi sono le molecole che, in base alla loro particolare sequenza chimica, determinano le caratteristiche genetiche degli organismi.

Ogni essere vivente eredita il patrimonio cromosomico dai suoi genitori, e il numero di cromosomi è specifico per ogni specie.

La Coffea arabica ha 44 cromosomi mentre la Coffea canephora ne ha soltanto 22.

### 2.1.2.8 Caratteristiche dell'Arabica

- autogamia: ogni singola pianta può produrre semi vitali senza bisogno di impollinazione incrociata con altri individui (come è nel caso della C. canephora)

- portamento dell'albero: eretto; la chioma è ampia e alcune varietà (per esempio Bourbon) raggiungono l'altezza di 3 metri

- forma e dimensione della foglia: la forma della foglia è allungata e ha dimensioni inferiori alla foglia di Robusta

- forma del frutto e del seme: sono più allungati che nella specie Robusta. Le dimensioni del seme sono estremamente variabili, in alcune varietà sono piccoli in altre molto grandi (come nella varietà Maragogype).

### 2.1.2.9 Contenuto di caffeina

Il caffè Arabica contiene meno caffeina del Robusta: i valori tipici per il caffè tostato e macinato sono 1,3% per l'Arabica e 2,4% per il Robusta. Di conseguenza, la quantità di caffeina assunta con una tazzina di caffè puro Arabica è inferiore a 100 milligrammi, mentre una tazzina di caffè Robusta può contenere oltre duecento milligrammi di caffeina.

### 2.1.2.10 Qualità della bevanda

È noto che le miscele Arabica producono un caffè migliore, con acidità elevata, un aroma raffinato e un retrogusto di caramello. Le caratteristiche delle miscele Robusta sono una acidità bassa, aromi sgradevoli e un retrogusto legnoso.

### 2.1.2.11 Robusta

La varietà di Coffea canephora più coltivata, nota come Robusta, ha 22 cromosomi nel nucleo della cellula.

Non è autogama (cioè è necessaria la presenza di più piante per ottenere frutti fertili).

Le sue caratteristiche principali sono:

- albero a portamento piangente
- foglia di grande dimensione
- seme a forma rotonda
- alto contenuto di caffeina
- resistenza a parassiti e malattie innata

Il nome Robusta deriva dall'innata resistenza ai parassiti e alle malattie mostrata dalla varietà più coltivata della Coffea canephora. Grazie a questa caratteristica la Robusta riesce a svilupparsi in ambienti inospitali, come la foresta pluviale equatoriale, dove le piante di Arabica sarebbero attaccate da tutti i generi di malattie, come i nematodi delle radici o Hemilaeia vastatrix (meglio noto come "ruggine del caffè").



### 2.1.2.12 La Raccolta

La raccolta inizia dopo la maturazione della ciliegia. A questo punto, nove mesi di coltivazione possono trasformarsi in un vero tesoro.

Tradizionalmente sono usate tre tecniche diverse per la raccolta:

- raccolta manuale (*picking*) i frutti vengono scelti a uno a uno
- raccolta a setaccio (*stripping*) il ramo viene "sgranato"
- raccolta meccanica

### 2.1.2.13 Raccolta manuale

È il modo migliore per raccogliere il caffè, ma il più costoso. Si tratta di scegliere le ciliegie una a una, consentendo così un primo controllo di qualità da parte dei raccoglitori. Le ciliegie acerbe vengono lasciate sul ramo, mentre vengono scartate quelle troppo mature, migliorando così la qualità del prodotto finale.



### 2.1.2.14 Raccolta a setaccio

In seguito alla mancanza di manodopera oppure per il costo elevato si sceglie a volte il metodo di raccolta *stripping*, che consiste nello "sgranare" il ramo dall'interno verso l'esterno raccogliendo tutti i frutti insieme, maturi, acerbi o troppo maturi. Si rende quindi necessaria un'ulteriore fase di selezione.

### 2.1.2.15 Raccolta meccanica

Un approccio moderno alla raccolta del caffè è la separazione meccanica dei frutti tramite aste multiple vibranti inserite nella chioma della pianta da una speciale macchina.



### 2.1.2.16 Fino al caffè verde

Dopo la raccolta, il caffè viene trattato in modo da trasformare le ciliegie in un prodotto commerciale. A seconda del clima e delle tradizioni locali, vengono seguiti due sistemi: il metodo a secco e il metodo in umido.

Poi i chicchi, ancora verdi, vengono setacciati e classificati per tipo, quindi conservati in condizioni adatte in modo che non si deteriorino.

### 2.1.2.17 Metodo a secco

Il trattamento a secco consiste nell'asciugare le ciliegie di caffè sotto il sole. Le ciliegie vengono distribuite su una superficie pulita (di mattoni, cemento o terra) e lasciate al sole per un paio di settimane. Quando sono asciutte vengono decorticate liberando i chicchi dalla buccia e dal pergamino. Si ottengono così chicchi di caffè "seccati al sole" o "al naturale".

### 2.1.2.18 Metodo in umido

Subito dopo la raccolta i frutti vengono spolpati: vengono immessi in macchine che lacerano la buccia e liberano il seme. Segue una fase di fermentazione, nella quale i chicchi sono immersi nell'acqua per un periodo che varia da un'ora fino a una notte; viene così eliminato il pergamino che ricopre la membrana esteriore del chicco. Questo infine viene asciugato per un breve tempo al sole o artificialmente. Il prodotto finale, liberato dal pergamino seccato, è chiamato "caffè lavato".

### 2.1.2.19 Setacciatura

Alla fine del trattamento a secco o in umido si ottiene il caffè verde crudo, ancora mescolato con molte impurità (pietruzze, bastoncini, foglie, resti di pergamino) che vengono soffiate via. I chicchi vengono quindi fatti passare al setaccio per classificarli in base alle dimensioni e alla forma. Le dimensioni delle maglie del setaccio influenzano il prezzo della vendita al dettaglio: più grandi sono i fori del setaccio, più grandi saranno i chicchi di caffè, e quindi, più alto il costo del prodotto.

### 2.1.2.20 Lo stoccaggio

Il caffè è un bene commestibile che può essere conservato abbastanza a lungo prima del consumo. Tuttavia devono essere prese alcune precauzioni, affinché si mantenga in buone condizioni, non si deteriori e non perda la qualità originaria. Particolare cura deve essere dedicata alle condizioni di umidità, alla durata della permanenza in magazzino e alla posizione del magazzino stesso



### 2.1.2.21 Durata

I chicchi di caffè crudi rimangono spesso in magazzino per anni prima di essere tostati. Generalmente, grazie alla sua struttura stabile, il caffè non viene deteriorato dagli agenti esterni. Tuttavia non esiste nessun metodo per fermare l'attività biochimica interna ai chicchi, in seguito alla quale alcuni componenti minori si trasformano in sostanze diverse che conferiscono al caffè un gusto legnoso e aspro dopo la tostatura.

### 2.1.2.22 Il piacere di un Espresso

Quando gustiamo un caffè espresso siamo subito colpiti dalla sua maggior densità, dal suo sapore concentrato e, in particolare, dal suo aroma, che lo distingue dal caffè preparato con altri metodi.

Nella preparazione del caffè espresso l'acqua passa attraverso il caffè ad alta pressione. Il caffè quindi deve essere macinato finemente per aumentare la superficie di contatto con l'acqua e favorire così l'estrazione di sostanze solubili, che conferiscono al caffè il suo sapore. Un espresso perfetto richiede abilità ed esperienza.

Per usare al meglio le macchine espresso leggi i nostri consigli.



### 2.1.2.23 La formula delle 4 M: l'Espresso perfetto

Si possono rappresentare gli elementi chiave nella preparazione di un espresso perfetto attraverso la cosiddetta "formula delle 4 M":

1. **M come Miscela:** la miscela di caffè che l'operatore utilizza per preparare l'espresso
2. **M come Macinadosatore:** lo strumento che consente di macinare i chicchi di caffè nel modo corretto e di dosarlo nelle giuste quantità
3. **M come Macchina espresso:** il cuore del processo volto a produrre una tazzina di espresso. Il suo compito è quello di far passare l'acqua calda ad elevata pressione attraverso un pannello di caffè macinato
4. **M come Mano dell'esperto,** in quanto un'ottima miscela e una buona attrezzatura sono certamente indispensabili ma non sono sufficienti.



### 2.1.2.24 Preparare la macchina

Prima di usare l'apparecchio per la prima volta lavare il serbatoio dell'acqua con acqua calda e detersivo per piatti, quindi risciacquatelo con cura sotto l'acqua corrente e riempitelo con acqua fresca.

- Controllate che l'interruttore di comando sia in posizione di riposo e che il portafiltro sia chiuso (impugnatura ruotata in posizione destra).
- Collegate l'apparecchio alla presa di corrente dotata di adeguato impianto di terra.
- Accendete la macchina mediante l'interruttore generale, normalmente esiste una spia che dovrebbe segnalarvi quando la macchina è pronta per preparare l'espresso.

Per preparare un ottimo espresso è necessario che la macchina e le tazzine siano calde; pertanto vi suggeriamo di accendere la macchina espresso 5 - 10 minuti prima dell'uso e scaldare le tazzine utilizzando l'erogatore dell'acqua calda, oppure far scorrere l'acqua calda attraverso il portafiltro.



## 2.1.3 Cenni sulla Manutenzione della macchina espresso

### 2.1.3.1 Pulizia dopo l'uso

Prima di pulire l'apparecchio togliete la spina dalla rete di alimentazione.

- Pulite l'apparecchio con un panno umido.
- Non immergete mai l'apparecchio nell'acqua.
- Togliete la griglia e vuotate (dopo averla sollevata) la vaschetta raccogliogocce.
- Pulire o sostituire il filtro estraendolo dal portafiltro
- Se esistente togliete la cannetta monta latte e pulite la lancia vapore.
- Lavate con l'acqua calda tutte le parti asportate ed infine risistematele al loro posto.

Eseguite almeno tre volte l'anno la pulizia della doccia superiore, di solito è fissata mediante una vite.

### 2.1.3.2 Decalcificazione

Per mantenere la macchina in perfetta efficienza, occorre effettuare periodicamente (ogni 2-3 mesi, a seconda del grado di durezza dell'acqua) l'operazione di decalcificazione.

- Per eliminare il calcare formatosi all'interno del circuito idraulico sono disponibili in commercio prodotti appositamente preparati per le macchine da caffè (una valida alternativa a questi prodotti è una soluzione costituita da 1 parte di aceto e 5 di acqua)
- Per eseguire la decalcificazione diluire nel serbatoio dell'acqua la quantità del prodotto utilizzato secondo le istruzioni descritte sulla confezione.
- Per procedere poi nell'operazione azionare prima l'interruttore di funzione caffè, poi la funzione vapore/acqua calda, per circa 20 secondi eseguendo una pausa tra un intervento e l'altro di almeno 1 minuto in modo da permettere il raffreddamento della pompa.

Esaurito il contenuto, riempire a metà il serbatoio con acqua fresca e ripetere le operazioni eseguite precedentemente.

*Attenzione:* se la macchina è dotata di caldaia, la fase di risciacquo dovrà prolungarsi per eliminare del tutto l'odore ed il gusto del decalcificante.

Terminata l'operazione attendere un paio di minuti, poi spegnere la macchina e risciacquare il serbatoio.

### 2.1.3.3 Preparare un cappuccino

Mettete del latte freddo in un bicco alto e utilizzate il getto del vapore per montare la schiuma, seguendo le seguenti istruzioni:

1. assicuratevi che il portafiltro sia aperto e privo di caffè o serving
2. azionate l'interruttore o la manopola del vapore, inizierà una breve erogazione di acqua, fatela scaricare e chiudete l'interruttore
3. immergete metà della lancia vapore nel bicco contenente il latte
4. azionate nuovamente l'interruttore, inizierà l'erogazione del vapore muovete il bicco con movimenti circolari e ondulatori, in modo da ottenere una schiuma densa e compatta. Non portate il latte ad ebollizione.
5. raggiunta la quantità di schiuma desiderata interrompete l'erogazione
6. aggiungete poi all'espresso, che avrete preparato in precedenza, il latte montato.

Alcune macchine sono dotate di un sistema cappuccinatore con il quale si ottiene la schiuma prelevando direttamente il latte dalla confezione.

Ricordarsi sempre dopo la preparazione del cappuccino di pulire tutti i particolari utilizzati rimuovendo con cura i residui di latte.

#### 2.1.3.4 Preparare un espresso

1. aprite il portafiltro, ruotando il manico verso sinistra e versate la giusta dose di caffè macinato nel filtro. Se utilizzate una macchina E.S.E. posizionate il serving sul filtro e richiudetelo ruotando verso destra fino a bloccaggio avvenuto.

2. procedete all'erogazione dell'espresso mediante l'interruttore di funzione.

3. al raggiungimento del volume interrompete l'erogazione.

Ricordatevi di rimuovere sempre dal filtro il caffè o il serving dopo l'erogazione dell'espresso.

#### 2.1.3.5 Dopo l'erogazione di vapore

**Non preparare** mai un espresso subito dopo aver erogato il vapore perché lo scambiatore di calore è surriscaldato e si rischia di ottenere un espresso bruciato e di pessima qualità, a meno che la macchina non sia dotata di doppio scambiatore.

Per riportare velocemente la macchina alla temperatura ideale per l'espresso seguite le seguenti istruzioni:

1. assicuratevi che il portafiltro sia chiuso e privo di caffè o servine

2. erogate acqua in un recipiente fino a quando la spia di avviso macchina pronta vi indicherà la fase di riscaldamento

3. interrompete l'erogazione di acqua ed attendete la fine della fase di riscaldamento

La macchina è di nuovo pronta per preparare un espresso.

#### 2.1.3.6 Raccomandazioni generali

Ricordiamo agli utenti di macchine E.S.E. di acquistare esclusivamente serving E.S.E. per ottenere sempre un corretto funzionamento della macchina e una qualità elevata dell'espresso.

Tenere la macchina sempre accesa con le tazzine appoggiate sullo scaldavivande.

- I serving e il caffè in generale devono rimanere chiusi nella loro confezione e conservati in luogo fresco e asciutto.

- Utilizzare sempre tazzine calde in modo da non deteriorare la crema dell'espresso e servire l'espresso subito dopo la preparazione. La corretta preparazione di un espresso all'italiana prevede un'erogazione della durata di circa 20-25 secondi.

- Rimuovere sempre il caffè o il serving dal portafiltro dopo l'uso e soprattutto prima di utilizzare il vapore.

- Al termine della preparazione, prima di spegnere la macchina, vuotare sempre il portafiltro, chiuderlo ed erogare acqua calda attraverso esso, in modo da eliminare possibili sapori sgradevoli dovuti ai residui di caffè nel portafiltro e soprattutto, se il gruppo caffè è costituito da un termoblocco, assicuratevi che sia avvenuto lo scarico dell'acqua.

- Cambiare frequentemente l'acqua del serbatoio.

## 2.1.4 Altre preparazioni

### 2.1.4.1 Moka

Il filtro viene riempito completamente con del caffè macinato (5 o 7 grammi per tazza) senza essere pressato.

La moka viene posta sulla fiamma e quando l'acqua, presente nel contenitore sotto il filtro, raggiunge l'ebollizione, passa attraverso il filtro facendo fuoriuscire il caffè nel contenitore sovrastante. La temperatura dell'acqua durante il passaggio è di circa 110°C e dura tra i 60 e i 100 secondi e la pressione barometrica è di poco superiore a 1 atmosfera.



### 2.1.4.2 Napoletana

Il filtro, posto sopra un contenitore d'acqua, viene riempito con del caffè macinato e coperto con un coperchio forato. Quando l'acqua, messa sulla fiamma, raggiunge l'ebollizione, la moka viene capovolta e l'acqua passa attraverso il filtro facendo fuoriuscire il caffè. La temperatura dell'acqua durante la percolazione è di 100°C/212°F, il contatto dura da 2 a 4 minuti.



### 2.1.4.3 Turco

Viene fatto con del caffè macinato molto finemente (un cucchiaino per tazza) e dello zucchero. Entrambi gli ingredienti vengono miscelati in un recipiente (ibrik) d'acqua bollente posto sulla fiamma, vengono rimestati continuamente finché non si forma della schiuma. L'ibrik viene tolto dal fuoco e lasciato raffreddare per qualche istante, e viene poi rimesso sulla fiamma una seconda e poi una terza volta. Il liquido viene versato nelle tazze e lasciato riposare per permettere alla polvere di caffè di depositarsi sul fondo.



### 2.1.4.4 Filtro

Un cucchiaino di caffè macinato grossolanamente per 150 ml di acqua viene posto nel filtro.

Quando l'acqua raggiunge i 100°C gocciola attraverso il filtro depositando il caffè così ottenuto in una brocca. La durata del contatto dipende dalla quantità di acqua utilizzata e dal tipo di caffè, mentre la pressione è quella atmosferica.



### 2.1.4.5 Macchine espresso

Per macchine espresso si considerano tutte quelle macchine dalle quali si ottiene la bevanda definita "espresso".

Sono composte da un involucro, detto carrozzeria e da un gruppo caffè, che a sua volta è costituito dai seguenti componenti tecnici: una **pompa** che serve a generare pressione nel circuito idraulico, uno **scambiatore di calore** dove l'acqua viene scaldata e mantenuta alla temperatura ideale mediante un **sistema di controllo temperatura** e da una **camera di estrazione** dove una volta depositato il caffè avviene la percolazione, cioè il passaggio di un fluido attraverso un mezzo poroso; nel caso in questione l'acqua calda rappresenta il fluido e il caffè il mezzo poroso.

Nelle macchine espresso si trovano sempre più frequentemente, oltre a quelli già nominati, altri componenti che rendono la macchina più funzionale.

Tra i principali vi sono dispositivi per il controllo del volume erogato, per l'erogazione di vapore, per la macinazione ed il dosaggio della polvere nel caso di utilizzo di caffè in grani.

Nelle foto qui di seguito si riportano alcuni esempi di macchine da caffè in commercio; si possono notare i differenti approcci alla progettazione delle stesse: si passa da progetti minimalisti (quello di Sapper, ad esempio) a progetti molto elaborati (vedi la macchina Bomba).

1) Ariete Hailwood Café:  
*con caldaia a serpentina*



2) G3 Ferrari Bella:  
*Il caffè si macina e si fa automaticamente*



3) Alessi COBAN RS04:  
*disegnata da Richard Sapper, con macina caffè*



4) VICEVERSA BOMBA:  
*in acciaio satinato*



## 2.2 Chiarificazione del compito: le 6 domande e le matrici

### 2.2.1 Come organizzare l'informazione? (Metodo QFD)

In generale, il risultato delle analisi del mercato e della prima selezione delle idee relative ad un prodotto (lavoro in gran parte svolto nel capitolo precedente) non contiene tutte le informazioni necessarie per dare inizio alla fase di progettazione vera e propria. Si deve, allora, a questo punto avviare una seconda fase di raccolta e di selezione dei dati che va sotto il nome di chiarificazione del compito.

La **chiarificazione del compito** è uno degli aspetti più importanti delle moderne metodologie di progettazione. Il problema deve essere definito il più completamente e chiaramente possibile in modo che le correzioni nelle fasi successive siano limitate.

Una prima revisione del progetto contempla una serie di domande atte a raggiungere questo scopo <sup>[12]</sup>.

*La specifica tecnica è il documento di arrivo di queste prime due fasi di pianificazione e di chiarificazione.*

In pratica, il percorso che stiamo seguendo per realizzare la nostra macchina da caffè è composto dalle seguenti tappe:

1. documentazione dell'ambiente (le 6 domande)
2. organizzazione di una sintesi delle esigenze
3. valutazione dell'importanza delle esigenze (le matrici)
4. formulazione della specifica tecnica
5. schizzi del prodotto
6. disegni CAD del prodotto
7. rendering del prodotto

### 2.2.2 Le 6 Domande

Le 6 domande servono ad individuare immediatamente quelle caratteristiche che l'oggetto da progettare necessariamente deve possedere. Esse sono:

- 1) Chi?: Chi usa il prodotto?
- 2) Cosa?: Quale è l'uso del prodotto?
- 3) Dove?: Dove è usato?
- 4) Quando?: Quando viene usato?
- 5) Perché?: Perché è usato?
- 6) Come?: Come viene usato?

Nel nostro caso specifico, abbiamo:

1) **Chi usa la macchina da caffè?** La macchina da caffè viene usata dalle famiglie, nuclei composti da una notevole molteplicità di persone, aventi spesso caratteristiche fisiche molto differenti (bambini, anziani, donne e uomini); possiamo quindi dedurre da questa risposta che si debba rendere necessaria una elevata **SEMPLICITA' D'USO**; inoltre è importante che l'oggetto possa essere utilizzato dal maggior numero di famiglie possibili: da qui segue un'altra necessità, cioè l'**ECONOMICITA' D'ACQUISTO**;

2) **Cosa? Qual è l'uso della macchina da caffè?** La macchina da caffè viene utilizzata per fare il caffè, possibilmente buono! Dunque si rende necessaria una **BUONA FUNZIONALITA'**, intesa come capacità da parte dello strumento, di realizzare un buon caffè;

3) **Dove viene usata la macchina del caffè?** Di solito è utilizzata in casa e spesso la si tiene in cucina, ambiente caldo ed umido; è dunque importante che la macchina offra **ELEVATA RESISTENZA ALL'UMIDITA' ed AL CALORE**, oltre ad essere **SOLIDA, ROBUSTA e STABILE**; la cucina è infatti un ambiente dove si lavora spesso e ci si muove in continuazione: la macchina può venire urtata varie volte e, nei casi peggiori, cadere;

4) **Quando e quante volte viene usata?** Di solito si utilizza 3-4 volte al giorno; tale frequenza di utilizzo può essere già considerata una frequenza elevata; da qui la necessità di avere un oggetto ancora una volta **RESISTENTE**, ma anche **FACILE DA PULIRE E DA MANUTENERE, MANEGGEVOLE ed ERGONOMICO**; inoltre è molto importante che sia realizzata in **MATERIALI ECO-COMPATIBILI**, poiché dopo 8-9 anni di utilizzo, la macchina da caffè si rompe e deve essere, ahimè, buttata;

5) **Perché si usa?** Si usa per poter bere il caffè; come diceva un famoso spot televisivo: “bere caffè è un piacere, se non lo bevi che piacere è?”; dunque l'atto del bere il caffè va oltre il gusto puro e semplice del gustarsi la bevanda, ma rispecchia un momento rituale della società italiana, che spesso è accompagnato da una “lacrima” di allegria; ecco da dove nasce l'esigenza di dover accompagnare tale momento in tutti i sensi, in maniera che nulla sia lasciato al caso; ecco allora la necessità di un oggetto **ESTETICAMENTE GRADEVOLE**, innovativo nel design;

6) **Come si usa?** Il caffè si beve espresso; la macchina deve fare il caffè espresso! Quindi, è importante che le **PRESTAZIONI** siano **ELEVATE**, che la **VELOCITA'** del processo sia elevata.

Dall'analisi sopra effettuata, abbiamo individuato così i seguenti requisiti che il nostro prodotto deve possedere:

- 1) **SOLIDITA' e ROBUSTEZZA**
- 2) **FUNZIONALITA'**
- 3) **SEMPLICITA' D'USO**
- 4) **MANUTENIBILITA' E PULIBILITA'**
- 5) **RESISTENZA ALL'UMIDITA' ED AL CALORE**
- 6) **MANEGGEVOLEZZA**
- 7) **BUON DESIGN - ESTETICAMENTE GRADEVOLE**
- 8) **ERGONOMIA**
- 9) **VELOCE E PERFORMANTE**
- 10) **STABILITA'**
- 11) **ECONOMICITA' D'ACQUISTO**
- 12) **ECO - COMPATIBILITA'**

### 2.2.3 Le Matrici

#### Le Matrici di Interrelazione: Primo Impiego

Per valutare l'importanza relativa dei requisiti sopra definiti, si utilizza la matrice di interrelazione. La matrice di interrelazione è uno strumento per evidenziare le relazioni causali di dipendenza e/o di importanza relativa tra diversi requisiti o concetti; lo strumento serve per definire priorità e stabilire sequenze ottimali di azioni. I dati di ingresso in una matrice di interrelazione sono spesso costituiti dai gruppi di requisiti affini. L'implementazione del metodo si articola nei seguenti punti:

- formulare la matrice dei requisiti, riportando nelle righe e nelle colonne di una matrice le stesse voci;
- determinare le relazioni di causa ed effetto o di importanza relativa;
- stimare le relazioni causali o le relazioni di importanza tra le diverse voci.

Qui di seguito riportiamo la Matrice di Interrelazione per il nostro caso; all'interno della matrice sono riportati i requisiti definiti nel paragrafo precedente:

La **Resistenza** e l'**Economia** sono i requisiti più dipendenti e che sono influenzati maggiormente dagli altri

<b>Effetti (righe); Cause (colonne)</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. Solidità Strutturale		1	1	1	3	9	3	1	1	9	3	1	33
2. Semplicità d'Uso	1		0	3	9	0	0	0	3	0	9	1	26
3. Funzionalità (buon caffè)	0	1		0	0	9	0	9	0	0	3	0	22
4. Manutenibilità e Pulibilità	1	3	0		9	3	1	1	9	0	1	0	28
5. Resistenza Umidità e Calore	1	9	0	9		0	3	0	9	0	3	0	34
6. Maneggevolezza	3	0	9	3	0		1	9	0	3	1	0	29
7. Estetica e Design	3	0	3	1	0	1		9	0	3	9	1	30
8. Ergonomia	3	0	1	1	0	9	3		0	3	3	0	23
9. Prestazioni (velocità e consumo)	0	3	1	0	9	0	0	0		0	9	3	25
10. Stabilità	9	3	1	1	1	3	1	3	1		1	0	24
11. Economia di Acquisto	3	9	1	3	1	1	9	3	3	1		1	35
12. Eco-Compatibilità	1	1	0	0	1	0	1	0	1	3	1		9
TOT.	25	30	17	22	33	35	22	35	27	22	43	7	

La **Maneggevolezza** e l'**Ergonomia** sono i requisiti più indipendenti e che influenzano maggiormente gli altri

Si interpretano le grandezze in colonna come

Cause e le stesse di riga come effetti. La dipendenza fra i requisiti può essere debole, media, forte quantificabile, ad esempio, con valori convenzionali 1, 3, 9.

### Le Matrici di Interrelazione: Secondo Impiego

Il secondo impiego della matrice di interrelazione è quello utilizzato per dare una valutazione di importanza relativa alle variabili “indipendenti”, una volta discriminate. Per un’analisi dell’importanza relativa, si usano voti convenzionali:

- 1** se l’elemento di riga ha la stessa importanza dell’elemento colonna;
- 0** se l’elemento di riga ha importanza maggiore dell’elemento colonna;
- 2** se l’elemento di riga ha importanza minore dell’elemento colonna.

Con questo strumento, i valori più elevati delle somme per riga indicano la variabile più importante tra quelle “indipendenti” (cioè che hanno più influenza sulle altre e sono meno influenzate).

Matrice Importanza Relativa													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. Solid. Strutt.	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	0	
2. Semplic.d'U.	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	
3. Funzionalità	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
4. Manut. e Pulib.	1	1	2	1	2	0	0	1	1	1	1	1	
5. Resist.Um.e Cal.	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	
6. Maneggevv.	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	
7. Estetica e Design	1	0	2	2	2	0	1	0	1	1	1	1	
8. Ergonomia	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	
9. Prestazioni	2	0	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
10. Stabilità	1	0	2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	
11. Economia	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	
12. Eco-Compat.	2	1	2	1	2	0	1	1	1	2	2	1	
<b>Voti</b>	13	6	21	12	17	4	12	10	12	14	15	8	144
<b>Peso (%)</b>	9%	4%	15%	8%	12%	2%	8%	8%	8%	10%	11%	5%	100%

La **FUNZIONALITA'** (il fatto che la macchina debba fare un buon caffè) e la **RESISTENZA all'UMIDITA' ed al CALORE** sono le caratteristiche più importanti (sono quelle cioè che hanno i pesi più elevati).



### La Matrice di Relazione

Con la Matrice di Relazione si confrontano i bisogni, ossia i **COSA** (i desiderati), con i parametri individuati dal progettista, ossia i **COME** (come soddisfare il bisogno).

Nel caso più generale, i COSA di riga rappresentano i requisiti da soddisfare, mentre i COME di colonna rappresentano i parametri o le azioni da porre in atto per soddisfare i requisiti di riga.

I dati di riga si possono ricavare, ad esempio, dai concetti sintetizzati e posti in ordine di importanza dai diagrammi di interrelazione.

Il metodo: si prepara una matrice riportando nelle righe i COSA e nelle colonne i COME. Si assegnano delle valutazioni numeriche di relazione:

- relazione nulla = CASELLA VUOTA
- relazione debole = valore 1
- relazione media = valore 3
- relazione forte = valore 9

Si effettuano le somme pesate per colonne dei valori assegnati, assumendo come peso il parametro di importanza.

La somma per colonna delle valutazioni viene effettuata sommando il prodotto del valore numerico relativo al giudizio di relazione (1, 3, 9) per il peso relativo (somma pesata).

La somma ha il significato di **importanza tecnica**, indica cioè l'azione che si deve prioritariamente intraprendere per soddisfare il maggior numero di requisiti importanti.

In questo progetto l'importanza è determinata dai valori percentuali dei pesi ottenuti dalla matrice di interrelazione del paragrafo precedente.

1) La lista dei COSA specifica che cosa desidera il Cliente. Il peso relativo di ogni COSA è indicato in una colonna contrassegnata con IMPORTANZA.

2) La lista dei COME raccoglie i concetti o i requisiti progettuali con i quali è possibile soddisfare le esigenze del Cliente.

3) La MATRICE di Relazione lega i COME ai COSA. In essa è quindi possibile evidenziare l'entità della relazione tra i requisiti progettuali ed i bisogni del Cliente.

Nel nostro caso, mentre i COSA sono i requisiti individuati dalle 6 domande, i COME da noi indicati risultano essere:

- Peso Struttura
- Sistemi di Comando
- Bilanciamento Componenti Interni
- Numero Componenti Esterni
- Isolamento della Carena
- Vassoio Portatazze
- Forma e colori
- Manico
- Caratteristiche e dimensioni della caldaia
- Base di appoggio
- Sistema scelta funzioni

## - Materiali

Matrice di relazione COSA/COME																									
COSA (righe); COME (colonne)	Importanza	1)Peso struttura	2)Sistema comandi	3)Bilanciamento componenti interni	4)Numero componenti esterni	5) Isolamento della carena	6) Vassoio portatas	7)Forma e colori	8)Materiali	9) Caratteristiche dimensioni caldaia	10) Base appoggio	11) Sistema scelta filtri	12) Materiali												
1. Solid. Strutt.	9%	9	0,81	0	0	0	0	0,27	0	0	1	0,09	3	0,27	0	0	9	0,81	9	0,81	0	0	9	0,81	
2. Semplicità d'U.	4%	9	0,36	9	0,4	1	0,04	9	0,36	0	0	3	0,12	3	0,12	9	0,36	3	0,12	0	0	9	0,36	1	0,04
3. Funzionalità	15%	1	0,15	0	0	9	1,35	0	0	1	0,15	0	0	0	0	0	9	1,35	0	0	1	0,15	1	0,15	
4. Manut. e Puliz.	8%	1	0,08	0	0	0	0	9	0,72	0	0	0	0	9	0,72	9	0,72	0	0	3	0,24	0	0	3	0,24
5. Resist. Usc. Cal.	12%	3	0,36	0	0	0	0	0	9	1,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,12	0	0	9	1,35
6. Maneggevol.	2%	9	0,18	3	0,1	0	0	1	0,02	0	0	9	0,18	9	0,18	3	0,06	0	0	1	0,02	0	0	3	0,06
7. Estetica e Design	8%	3	0,24	9	0,7	0	0	9	0,72	0	0	9	0,72	9	0,72	9	0,72	9	0,72	9	0,72	3	0,24	9	0,72
8. Ergonomia	8%	1	0,08	3	0,2	0	0	9	0,72	0	0	9	0,72	9	0,72	9	0,72	0	0	3	0,24	1	0,08	1	0,08
9. Prestazioni	8%	0	0	9	0,7	9	0,72	0	0	1	0,08	0	0	0	0	0	9	0,72	0	0	0	0	0	0	0
10. Stabilità	10%	9	0,9	0	0	0	0	1	0,1	0	0	3	0,3	9	0,9	0	0	0	0	9	0,9	0	0	1	0,1
11. Economia	11%	9	0,99	3	0,3	1	0,11	3	0,33	3	0,33	3	0,33	9	0,99	1	0,11	9	0,99	3	0,33	9	0,99	9	0,99
12. Eco-Compat.	5%	9	0,45	1	0,1	0	0	1	0,05	3	0,15	1	0,05	1	0,05	1	0,05	0	0	1	0,05	0	0	9	0,45
Totali	100%	63	4,6	37	2,5	20	2,22	45	3,29	17	1,79	38	2,21	61	4,67	41	2,74	48	4,71	39	3,43	23	1,82	55	4,99

Osservando la matrice sopra, i valori cerchiati in rosso indicano che i COME che possiedono maggior importanza tecnica rispetto agli altri sono:

- 1) *Peso della Struttura*
- 2) *Forma e colori*
- 3) *Caratteristiche e dimensioni della caldaia*
- 4) *Materiali*

Possiamo così considerare tali risultati come punto di partenza per la scelta dei vincoli tecnici da adottare nel progetto costruttivo della macchina da caffè che stiamo realizzando.  
Come prima specifica si può già affermare che la macchina deve avere:

- a. **basso peso**
- b. **forma gradevole e colori adeguati**
- c. **caldaia non ingombrante, ma veloce => caldaia a serpentina**
- d. **buoni materiali, compatibili con gli alimenti**

### La Matrice Morfologica

Al fine di confrontare le varie soluzioni che assolvono le funzioni emerse dall'analisi funzionale, si adotta la Matrice Morfologica, che per ogni funzione evidenzia una serie di principi di soluzione  $S_{ij}$ .

Ogni combinazione dei principi di soluzione è indicata da una spezzata.

Non tutte le combinazioni di soluzioni costituiscono varianti concettuali accettabili. Nel nostro caso, la soluzione indicata sulla matrice risulta essere quella adottata.

<b>Matrice morfologica</b>				
	<b>Funzioni</b>	<b>Soluzioni</b>		
		<b>Sj1</b>	<b>Sj2</b>	<b>Sj3</b>
1	<b>Piastra scaldatazzine</b>	Acciaio	● Alluminio	Lega metallica
2	<b>Vassoio portatazzine</b>	Plastica termoresistente	↓ Alluminio	Lega metallica
3	<b>Sistema produzione caffè</b>	Per grandi quantità (a serpentina)	Per quantità ridotte (a boiler)	
4	<b>Sistema produzione vapore</b>	Pressione H2O calda		
5	<b>Illuminazione sistemi lead</b>	Lampeggianti	Illuminazione diretta	
6	<b>Comandi</b>	Automatici	Semiautomatici	Manuali
7	<b>Manico con aggancio</b>	A pressione manuale	Viti	Bottoni
8	<b>Contenitore acqua</b>	Piccolo	Medio	Grande
9	<b>Vaschetta residui caffè</b>	Apribile	Semiapribile	Chiusa

La macchina si presenterà così: un coperchio per trasmettere il calore in alluminio, sopra il quale ci sarà un vassoio portatazzine sempre in alluminio (metallo leggero); il sistema di preparazione del caffè sarà una caldaia a serpentina, meno ingombrante e più veloce rispetto al boiler. Il sistema di illuminazione scelto sarà ad illuminazione diretta, meno costoso, così come i comandi manuali piuttosto che quelli automatici. C'è inoltre un manico, per facilitare l'inserimento del manicotto portacaffè; un contenitore d'acqua molto capiente ed una vaschetta per i residui del caffè asportabile, affinché sia più agevole la pulizia.

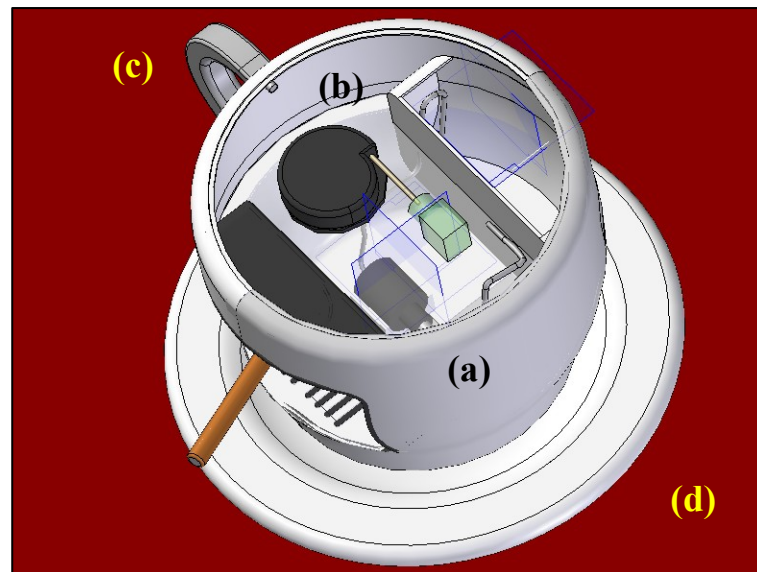
## 2.3 Il Progetto Costruttivo e fase applicativa (CAD e Rendering)

Da quanto emerso a seguito dell'analisi matriciale sopra effettuata, si è ottenuto che le quattro caratteristiche-obiettivo del progetto risultano essere le seguenti:

- a) **Resistenza all'umidità**
- b) **Funzionalità**
- c) **Maneggevolezza**
- d) **Estetica piacevole**

Quindi, partendo da questa base si può così rispondere all'esigenza di dotare il prodotto-progetto di elementi idonei ad ottemperare tali richieste, nel seguente modo:

- a) **Realizzare la macchina del caffè con materiale plastico (più resistente all'umido)**
- b) **Dotare la macchina del caffè di un riscaldatore dell'acqua a spirale e non a boiler (maggior funzionalità)**
- c) **Dotare la macchina del caffè di un manico (maggior maneggevolezza)**
- d) **Realizzare la macchina a forma di tazzina da caffè gigante in modo da conferirle un aspetto piacevole (estetica piacevole)**



Ad obiettivi chiari e definiti corrisponde così un progetto chiaro e definito, facile da disegnare, in quanto ben impostato.

Fanno seguito, quindi, disegni 2D e 3D e rendering del progetto finito.



## Rendering



## 2.4 Conclusioni

Questo lavoro è un esempio relativo alla progettazione di un oggetto mediamente complesso, usando metodologie innovative quali QFD (Qualità Function Deployment), Analisi del Valore e Design for Assembly, le quali servono ad accrescere la qualità durante il processo di progettazione.

Esse fanno parte della famosa tecnica di progettazione chiamata Ingegneria Concorrente, ed in particolare:

- QFD ordina tutte le informazioni che emergono durante ciascuna fase di progettazione;
- Analisi del Valore valuta tutti i costi che il nostro progetto implica;
- Design For Assembly conduce il processo di progettazione verso l'esemplificazione di tutte le forme dei componenti in modo tale che sia possibile ottenere un prodotto facile da montare.

Possiamo infine dire che:

- La metodologia del QFD illustra come sia importante strutturare le informazioni utili alla progettazione
- Attraverso un flusso ordinato di informazioni, possiamo arrivare al prodotto finale più velocemente e seguendo i giusti requisiti richiesti dai clienti
- I metodi utilizzati raggiungono gli obiettivi di qualità già in fase di progettazione, non più tardi
- La qualità è una specificità per progettare, non un processo da applicare al prodotto finito.





# ***Capitolo 3:***

## ***Progettare: Impostare ed Applicare***

### 3.1 Impostazione ed Applicazione

L'adozione di un metodo di lavoro corretto ed efficace è importantissima in quanto la sempre maggiore concorrenza tra aziende e le richieste di mercato estremamente variabili nel corso delle stagioni spingono l'ambiente industriale alla ricerca di soluzioni sempre più convenienti a livello economico e sempre più aderenti alle specifiche imposte dalla clientela.

Non soddisfare le necessità degli utenti finali, oppure raggiungere in ritardo il mercato significa perdere prestigio e denaro.

Un buon metodo di lavoro permette di costruire una traccia di sviluppo analoga per qualsiasi genere di problema di progettazione meccanica e consente pertanto di ottimizzare tutte le attività indispensabili al raggiungimento di un risultato.

Possedere un metodo di lavoro significa usufruire di uno strumento potentissimo.

Frequentemente, nella storia della progettazione, si sono verificati errori "concettuali", errori nel metodo di sviluppo, errori che hanno portato prodotti ed aziende al fallimento.

Negli ultimi 50-60 anni il significato della parola **progettare** è cambiato radicalmente e soprattutto sono cambiati i metodi di valutazione della bontà del progetto. Nella metà del secolo scorso progettare significava ottenere un prodotto che soddisfacesse solamente specifiche di carattere tecnico e funzionale, oggi, **il prodotto deve incontrare completamente le necessità della clientela**, relegando alle caratteristiche tecniche un ruolo nascosto all'utente finale, al quale non deve interessare molto oltre al godimento dell'oggetto stesso.

Inoltre, nascono verso la fine del secolo scorso studi specifici correlati all'attività di progettazione che si occupano di analizzare l'ambiente di vita del prodotto e le caratteristiche salienti degli utenti finali, studi in precedenza sconosciuti o trascurati.

Conoscendo dunque le necessità e le richieste del cliente sarà possibile realizzare un oggetto in grado di accontentarlo e renderlo soddisfatto dell'acquisto.

Oltre all'ufficio tecnico, incaricato di dare corpo ad un'idea, nascono molti altri uffici che si occupano del marketing, delle indagini sul mercato, di studi psicologici sulla categoria di persone al quale il prodotto è dedicato ecc.

Nessuna caratteristica viene ora tralasciata, pena il fallimento del prodotto rispetto alla concorrenza.

Ad esempio: un'automobile estremamente efficiente e di alta qualità ma esteticamente sgradevole non potrà affermarsi in un mercato dove l'auto riflette la personalità e lo status sociale del proprietario. È altresì vero che un'auto esteticamente bella ma poco affidabile oppure poco sicura renderà il cliente estremamente insoddisfatto e lo spingerà alla scelta di un modello proposto dalla concorrenza.

È poi accertato che il prezzo finale non è sempre il primo parametro di misura di un cliente. In una società moderna moltissime persone sono disposte a spendere una somma maggiore pur di possedere un prodotto di qualità elevata, più performante, ecc...

Attualmente, raggiungere il miglior risultato possibile in tutte le attività del progetto consente al prodotto di prevalere sul mercato e consente all'azienda produttrice di affermare il suo marchio ed aumentare il suo prestigio.

Un metodo in grado di ordinare tutte le fasi dello sviluppo di un prodotto costituisce indubbiamente un vantaggio immenso rispetto a tutti coloro, aziende e non, che si affidano allo sviluppo sequenziale delle attività ed intervengono con modifiche successive ai prototipi.

Progettare un componente e poi intervenire con modifiche risolvendo i problemi che si manifestano sui prototipi è un modo di lavoro ormai obsoleto poiché lento ed estremamente dispendioso, pertanto inaccettabile.

**Il metodo di progettare non è unico e per questo valutarne pro e contro diventa importantissimo, senza poi trascurare un'attenta analisi dei risultati.**

Le attività da svolgere nel corso dello sviluppo di un progetto sono molteplici, soprattutto durante la fase iniziale, dove il prodotto non ha ancora una forma fisica propria e resta un concetto nella mente dei progettisti.

Non tutte le attività sono poi da svolgersi consecutivamente. Sfruttando i mezzi di comunicazioni moderni è possibile mantenere in contatto due o più persone contemporaneamente e trasmettere attraverso le reti di computer dati in notevole quantità.

Riuscendo ad imbastire una rete a sviluppo “orizzontale” le aziende sono perfettamente in grado di far lavorare ufficio marketing ed ufficio tecnico contemporaneamente e realizzare un perfetto aggiornamento di informazioni tra l’uno e l’altro nodo.

Diventa altresì possibile uno scambio continuo di informazioni tra l’ufficio tecnico e l’officina, tra progettisti e cliente ecc.

Questo genere di lavoro, dove le attività non si susseguono una dopo l’altra cronologicamente viene chiamato “**ingegneria concorrente**”.

Nel presente capitolo, si intende sintetizzare alcune caratteristiche comuni a tutti i progetti, facendo tesoro delle esperienze applicate e citate nei capitoli 1 e 2.

Dopo un attento lavoro di analisi, che ci ha condotto ad affrontare due progetti di natura diversa (progettazione per l’estetica e progettazione per la funzionalità), risulta necessario provare a vedere quali siano gli aspetti comuni di entrambi i progetti.

Si può così affermare che:

$$\textbf{Progettare} = \textbf{Impostare} + \textbf{Applicare}$$

dove si intende per fase di impostazione quella relativa:

- alla adozione del metodo di lavoro
- alla chiarificazione del compito
- alla ricerca degli obiettivi del progetto
- alla stesura degli obiettivi del progetto
- alla definizione del progetto concettuale

in cui, per *adozione del metodo di lavoro* si intende, come prima cosa, la scelta di adottare un metodo (non sempre scontata) e, poi, quella relativa a quale metodo adottare (ad es. QFD, TRIZ, ecc.); essa è il COME progettare.

Per *chiarificazione del compito* si intende, una volta analizzato il mercato e la concorrenza, la definizione qualitativa di COSA si intende progettare. Essa ci porterà a *ricercare gli obiettivi* e ad *elencarli*.

Infine, la *definizione del progetto concettuale* riguarda una prima analisi delle possibili soluzioni costruttive che lo stesso progetto potrebbe adottare.

mentre si intende per fase di applicazione quella relativa:

- alla pianificazione
- all’analisi dei costi
- alla disegnazione
- alla prototipazione
- alla sperimentazione
- all’avanzamento

in cui, per *pianificazione* si intende la definizione degli obiettivi di tempo; per *analisi dei costi*, la definizione degli obiettivi di costo; per *disegnazione*, la stesura in forma grafica del progetto in 2D e/o in 3D, magari con l'adozione di tecniche moderne quali il CAD; la *prototipazione* e la *sperimentazione* sono le fasi di controllo tecnico; l'*avanzamento* è invece la fase di controllo gestionale.

Risulta quindi di fondamentale importanza, ai fini della buona riuscita del progetto, eseguire una quanto più completa e migliore **impostazione possibile**.

Infatti, più dettagliata sarà l'impostazione, migliori saranno i risultati ottenibili dalla progettazione. Affinché l'impostazione sia ben fatta, quindi, è opportuno adottare un buon metodo di lavoro e, se possibile, ottimizzarlo affinché migliori di continuo (a questo proposito è opportuno citare la metodologia giapponese del *kai-zen*, "miglioramento continuo", che fa proprio della ricerca e dell'adozione di nuove metodologie di miglioramento la propria filosofia).

Tra gli obiettivi della presente tesi c'è quindi anche quello di tentare di individuare, non tanto una metodologia robusta per progettare, ma, partendo da quelle note, far capire al lettore le strade che ci conducono a non tralasciare nulla, tenendo in considerazione quanti più aspetti possibile.

## 3.2 L'Impostazione: l'importanza del metodo per impostare un progetto

Qui di seguito riporteremo le descrizioni di due dei più importanti metodi conosciuti ed adottati in moltissime aziende nel mondo: il QFD ed il TRIZ.

Il primo, conosciuto e stimato, è un metodo che ha trovato le sue applicazioni più importanti in Giappone, a partire dagli Anni Sessanta; esso è un riferimento per tutti coloro che vogliono imparare a progettare.

Il secondo, invece, è un metodo inventato da uno scienziato russo, Altshuller; tale metodo, alternativo o complementare al QFD, riscuote diversi pareri tra gli esperti del settore: c'è chi lo esalta e chi lo deplora.

Sarà un altro obiettivo di questa tesi portarli a confronto sia per dare una risposta alla banale domanda “è meglio il QFD o il TRIZ” sia, soprattutto, per trovare noi stessi delle risposte utili alla nostra ricerca metodologica in generale.

### 3.2.1 Il fabbisogno ed il processo di nascita di un progetto

Un OGGETTO qualunque rappresenta il risultato di una serie di processi più o meno complessi, la cui radice è rappresentata dal FABBISOGNO, cioè da quella necessità per la quale la persona diventa CLIENTE e decide di compiere un acquisto.



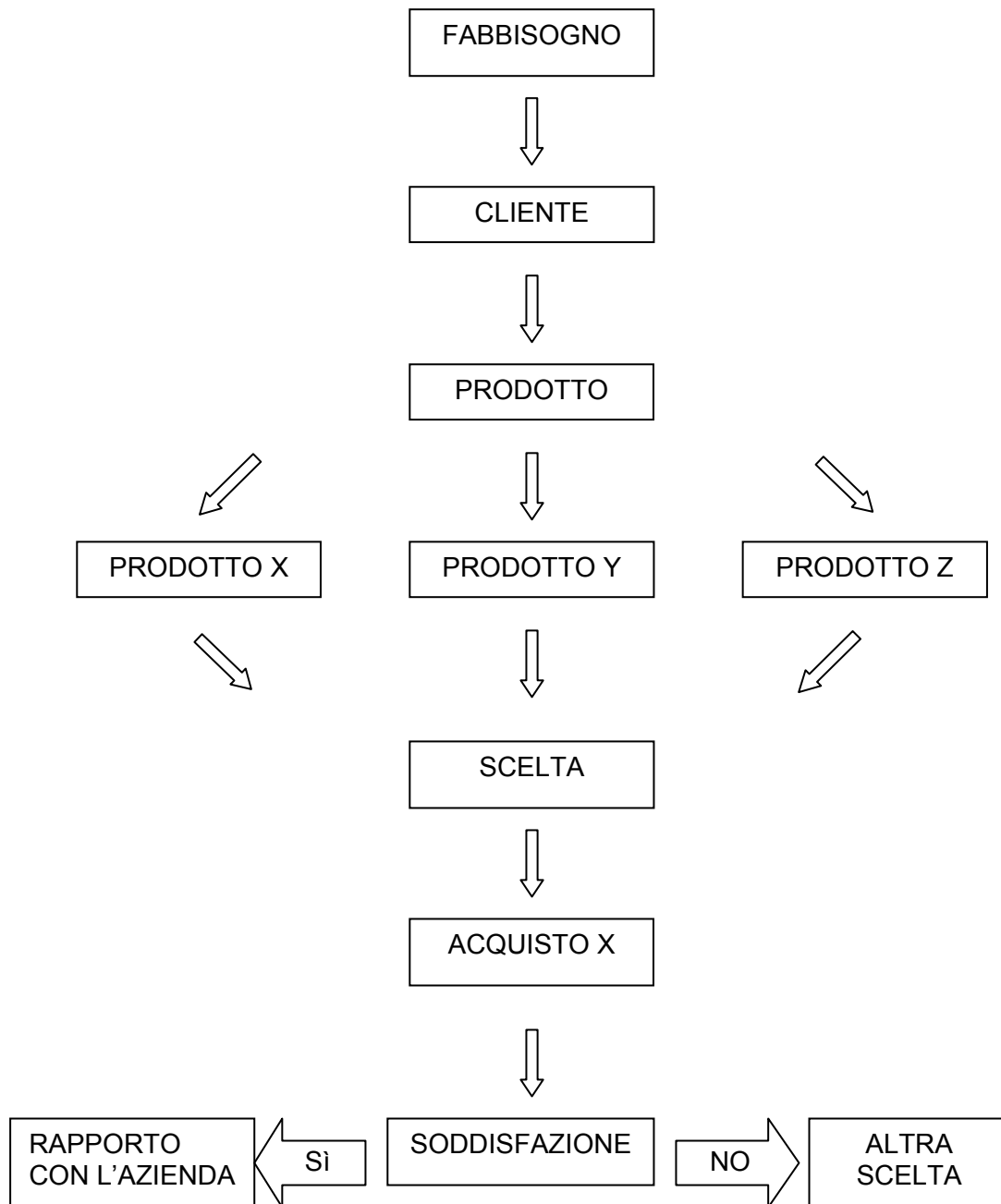
Si supponga che il cliente abbia necessità di acquistare un telefono cellulare, cioè un PRODOTTO.

Sul mercato esistono molte aziende, tra loro concorrenti, che producono telefoni cellulari (per semplicità si immagini che esistano solo tre prodotti in grado di soddisfare la necessità del cliente: PRODOTTO X, PRODOTTO Y e PRODOTTO Z).

Il cliente deve quindi decidere quale prodotto acquistare, deve cioè effettuare una SCELTA e successivamente procede all'ACQUISTO di un prodotto, in questo caso del prodotto X.

A questo punto il cliente utilizza il prodotto acquistato e si forma un'opinione su di esso, la quale lo porta a raggiungere un grado di soddisfazione che per semplicità si supporrà o totalmente positivo (soddisfazione SI) o totalmente negativo (soddisfazione NO).

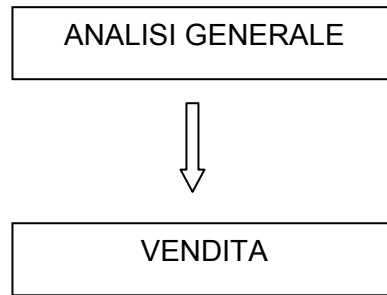
Nel caso l'acquisto abbia determinato una soddisfazione positiva nasce un RAPPORTO CON L'AZIENDA che porta il cliente ad acquistare anche in futuro oggetti prodotti dalla stessa, mentre nel caso l'acquisto abbia determinato un'insoddisfazione allora il cliente probabilmente procederà in futuro ad una nuova SCELTA, che lo porterà ad un nuovo ACQUISTO di un altro prodotto.



A monte del prodotto esistono una serie di passaggi, più o meno obbligati, che si possono riassumere come segue.

Quando un'azienda mette in vendita un oggetto, significa che si è partiti da un'ANALISI GENERALE fino a giungere appunto alla VENDITA, attraverso le varie fasi intermedie di competenza dei vari uffici.





Prima di tutto l'azienda compie sia un'ANALISI DI MERCATO, cioè studia quali sono le richieste e le necessità dei potenziali clienti e a quale target di persone l'oggetto è rivolto, sia un'ANALISI DELLA CONCORRENZA, cioè studia in maniera approfondita le caratteristiche dei prodotti della stessa tipologia che altre aziende producono.

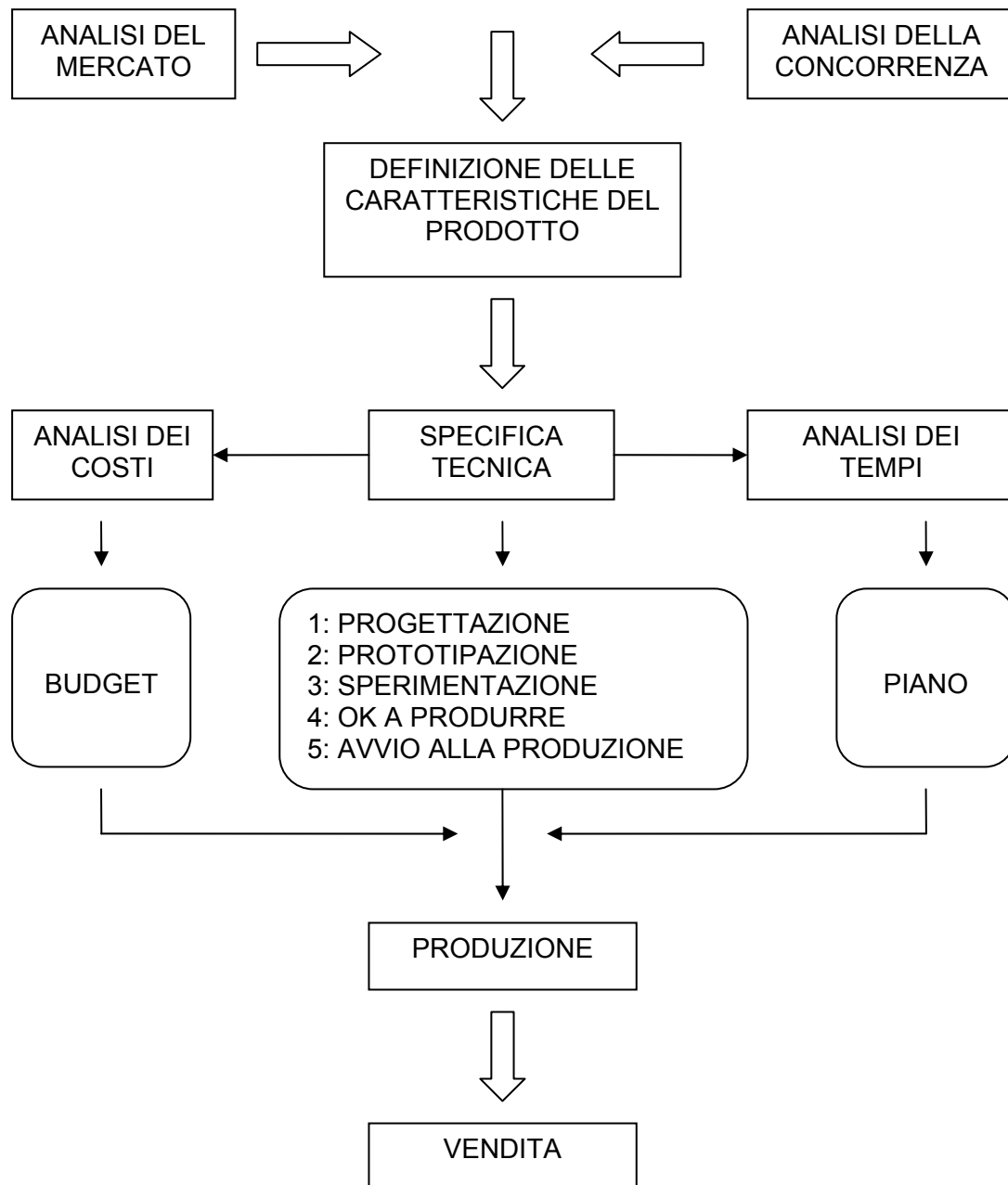
A questo punto nasce la DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO, cioè quelle caratteristiche tecniche e grafiche che esso deve possedere per poter ambire a conquistare una fetta del mercato.

Parallelamente c'è uno stadio che racchiude tre fasi:

- 1) la SPECIFICA TECNICA cioè tutti i passaggi dalla PROGETTAZIONE all'AVVIO ALLA PRODUZIONE;
- 2) l'ANALISI DEI TEMPI cioè la stesura di un PIANO nel quale ad ogni passaggio della specifica tecnica viene assegnato un tempo per la realizzazione dello stesso;
- 3) l'ANALISI DEI COSTI, cioè lo studio del BUDGET, nel quale ad ogni passaggio della specifica tecnica viene assegnato un costo per la realizzazione dello stesso.

Successivamente ci sono vari passaggi per definire i particolari, la creazione di prototipi e gli studi su di essi.

Infine le ultime fasi sono la PRODUZIONE del prodotto e la VENDITA dello stesso mediante una rete commerciale.



### 3.2.2 Il QFD (*Quality Function Deployment*)

#### 3.2.2.1 Il QFD: aspetti applicativi

Letteralmente, l'acronimo **QFD**, “quality function deployment”, può essere anche tradotto come “sviluppo o analisi delle funzioni della qualità” ed in pratica si propone di chiarificare nella maniera più estesa ed approfondita l'ambito di lavoro del prodotto, le necessità del cliente e dei vari reparti dell'azienda coinvolti nello sviluppo del prodotto finale.

Il QFD, oltre a mettere in risalto tutti gli aspetti più importanti del progetto fornisce ai progettisti anche una gamma di potenti strumenti per catalogare, ordinare e confrontare questa serie di informazioni che altrimenti potrebbero venire trascurate o sottovalutate.

Si tratta di un metodo di tipo induttivo, dove domande specifiche permettono di generare delle risposte relative al prodotto da realizzare. Il metodo prevede uno schema preciso di quesiti e confronti, strutturati anche secondo matrici e tabelle, che fungono da guida nello sviluppo del progetto.

Gli strumenti di questa metodologia consentono di raggruppare e di valutare in base all'importanza effettiva le varie caratteristiche tecniche del progetto e poi anche di confrontare il prodotto con soluzioni alternative, eventualmente anche proposte da aziende concorrenti ecc...

Il QFD è un metodo che entra nella fase di progettazione fin dai primi istanti, poiché prevede subito un'indagine particolareggiata sul prodotto, sull'ambiente di utilizzo e sui vari utenti, al fine di prendere in considerazione quella serie di dati che effettivamente hanno un peso rilevante nel progetto.

Il seguito del metodo consiste nell'ordine e nella valutazione relativa degli aspetti salienti attraverso la costruzione di apposite matrici e si conclude con la stesura della specifica tecnica, che consiste in quel documento di sintesi di tutti i parametri presi in considerazione.

Con la redazione di questo documento si può dire concluso il percorso guidato dal metodo, poiché giunti a questo punto i progettisti non devono far altro che applicare nella maniera più opportuna tutte le linee guida messe in evidenza.

Acquisire una certa dimestichezza con questa metodologia permette un effettivo risparmio di tempo e di denaro, poiché evita di sviluppare soluzioni erranee oppure lontane dalle aspettative della clientela <sup>[12]</sup>.

##### 3.2.2.1.1 Strumenti del QFD – Le sei domande di partenza

L'indagine da mettere in atto comincia da sei semplici domande, la cui risposta potrebbe essere data sia da un team di progettisti, quanto da esperti di marketing o anche da clienti, incaricati proprio di trovare o comunicare idee o necessità particolari in vista di nuovi prodotti da lanciare sul mercato. Le domande sono le seguenti:

1. **Chi?: Chi usa il prodotto?**
2. **Cosa?: Qual è l'uso?**
3. **Dove?: Dove è usato?**
4. **Quando?: Quando viene usato?**
5. **Perché?: Perché viene usato?**
6. **Come?: Come viene usato?**

Attraverso la risposta a questi quesiti si inquadra fin dall'inizio del progetto l'ambito del prodotto e cominciano a risaltare le peculiarità di cui tenere conto nello sviluppo.

### 3.2.2.1.2 – Strumenti del QFD – La matrice di interrelazione 1° uso

La matrice di interrelazione è una tabella dalla quale vengono ricavate le dipendenze relative tra i vari requisiti del problema. Una volta ottenute le risposte alle domande analizzate in precedenza tutti i requisiti vengono disposti in una matrice quadrata sia nelle righe sia nelle colonne, dopodichè si entra nella matrice e si assegnano negli incroci valori numerici 1. 3. 9. in funzione della dipendenza relativa di questi requisiti.

MATRICE DI INTERRELAZIONE 1° USO								
Effetti (righe) Cause (colonne)	Funzionalità	Semplicità d'uso	Resistenza alle condizioni ostili	Maneggevolezza	Ergonomia	Sicurezza	Affidabilità	TOTALE
Funzionalità		1	9	3	1	9	9	32
Semplicità d'uso	1		3	9	9	3	1	26
Resistenza alle condizioni ostili	1	1		3	1	9	1	16
Maneggevolezza	3	1	3		9	3	1	20
Ergonomia	1	3	3	1		3	1	12
Sicurezza	9	1	9	3	3		9	34
Affidabilità	9	1	9	1	1	1		22
TOTALE	24	8	36	20	24	28	22	

**Matrice di interrelazione 1° uso**

Attraverso questo sistema, con una semplice somma, emergerà il parametro che più di tutti influenza gli altri e quello invece che subisce maggiormente le modifiche apportate al sistema.

In un sistema complesso ed articolato come un componente meccanico, dove molti aspetti delle varie caratteristiche si intrecciano e risultano legati tra loro, la conoscenza del requisito più “potente” indicherà ai progettisti dove dirigere il loro lavoro per ottenere il maggior numero di benefici e di miglioramenti.

### 3.2.2.1.3 – Strumenti del QFD – La matrice di interrelazione 2° uso

La stessa matrice precedente può anche essere utilizzata in un secondo modo, per valutare l'importanza generale dei parametri. In questo caso negli incroci delle caratteristiche si attribuisce un valore numerico in funzione dell'importanza del valore in colonna rispetto a quella di riga e così via. Alla fine, una somma indicherà quale variabile è il più importante di tutte.

MATRICE DI INTERRELAZIONE 2° USO									
Effetti (righe) Cause (colonne)	Funzionalità	Semplicità d'uso	Resistenza alle condizioni ostili	Maneggevolezza	Ergonomia	Sicurezza	Affidabilità	TOTALE	NORMAL
Funzionalità	1	1	1	2	2	1	1	9	0,184
Semplicità d'uso	1	1	0	1	1	0	0	4	0,082
Resistenza alle condizioni ostili	1	2	1	2	2	1	1	10	0,204
Maneggevolezza	0	1	0	1	1	0	0	3	0,061
Ergonomia	0	1	0	1	1	0	0	3	0,061
Sicurezza	1	2	1	2	2	1	1	10	0,204
Affidabilità	1	2	1	2	2	1	1	10	0,204

**Matrice di interrelazione 2° uso**

Il doppio uso della matrice di interrelazione serve per mettere in evidenza la caratteristica saliente, che solo in casi estremamente semplici appare evidente anche con una semplice analisi.

### 3.2.2.1.4 – Strumenti del QFD – La matrice di relazione

Una volta stabiliti i requisiti del sistema da sviluppare occorre stabilire quali azioni tecniche apportare per raggiungere gli obiettivi. Il metodo QFD propone un'altra matrice destinata a questo scopo. La matrice di relazione è quello strumento dove in bisogni del sistema, chiamati i “cosa”, vengono confrontati con le azioni tecniche, i parametri di progettazione, definiti invece i “come”.

MATRICE DI RELAZIONE									
Come (colonne) Cosa (righe)	Importanza	Materiali	Dimensioni	Facilità di montaggio su	Facilità di taratura	Facilità di fabbricazione	Facilità di assemblaggio	Progetto robusto	TOTALE
Funzionalità	4	3	3	3	1	3	3	3	23
Semplicità d'uso	2	1	1	9	9	1	1	9	33
Resistenza alle condizioni ostili	5	9	1	1	1	1	1	1	20
Maneggevolezza	1	3	9	9	3	1	1	9	36
Ergonomia	1	3	9	9	3	1	1	9	36
Sicurezza	5	9	1	1	3	1	1	1	22
Affidabilità	5	9	1	1	3	3	1	1	24
<b>Importanza tecnica</b>		<b>155</b>	<b>47</b>	<b>63</b>	<b>63</b>	<b>41</b>	<b>31</b>	<b>63</b>	

**Matrice di relazione**

Mettendo in relazione queste caratteristiche, si riesce a stabilire quale operazione tecnica sia da mettere in atto per soddisfare il maggior numero di requisiti e soprattutto soddisfarli nella maniera più completa possibile.

Il meccanismo di confronto resta quello delle somme, eventualmente arricchito del coefficiente di importanza tecnica, in modo da attribuire un peso all'azione da compiere.

Conoscere dunque sia le caratteristiche salienti del sistema sia la natura dell'azione da compiere permette un notevole risparmio del tempo e delle energie dedicate a metodologie che si basavano sui “tentativi” e sul continuo “aggiustamento” dei prototipi.

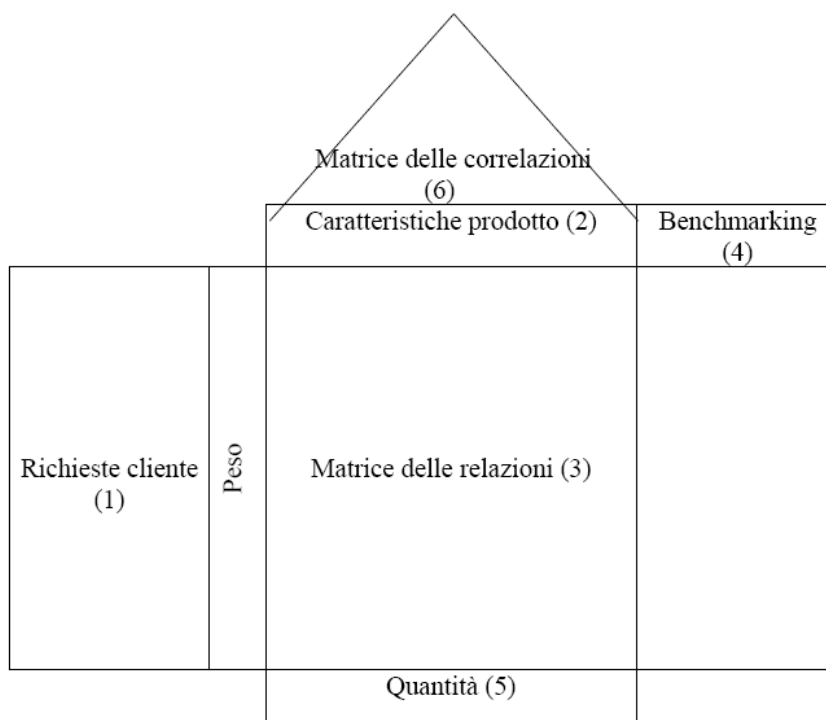
### 3.2.2.1.5 – Strumenti del QFD – La casa della qualità

L'ultima tabella di analisi del metodo QFD si chiama "casa della qualità". Deve questo nome dal suo aspetto particolare e consiste nell'unione delle precedenti matrici secondo uno schema prestabilito.

Una volta stesa la casa della qualità essa contiene al suo interno tutta una serie di informazioni che definiscono completamente l'ambito del prodotto, in tutte le sue sfaccettature, pertanto si sono ordinate informazioni secondo:

- Bisogni del cliente classificati in ordine di importanza
- Comprensione del mercato
- Posizionamento competitivo
- Aree critiche e colli di bottiglia del processo
- Alternative possibili di processo
- Direzioni potenziali di miglioramento
- Linee guida per il monitoraggio dei parametri di processo.

La casa della qualità è una grande tabella riassuntiva, che raggruppa e nello stesso tempo dà accesso a tutte le informazioni emerse dall'indagine svolta.



### *3.2.2.1.6 – Strumenti del QFD – La lista di controllo per la stesura della specifica tecnica*

L'obiettivo del metodo QFD è la stesura di un documento contenente al suo interno tutta quella serie di informazioni a cui fare riferimento durante la progettazione, la specifica tecnica appunto, tuttavia una volta chiarificato completamente il sistema da progettare, è opportuno effettuare un controllo al fine di controllare il corretto svolgimento delle operazioni.

Il metodo QFD, nonostante fornisca strumenti estremamente potenti di indagine ma soprattutto di analisi, è un metodo di natura non immediata ed un'applicazione errata all'inizio del lavoro può portare a conseguenze molto pesanti in fasi avanzate di progettazione.

La lista di controllo consiste in una serie di verifiche da effettuare confrontando il risultato della casa della qualità con requisiti standardizzati di cui tenere conto nello sviluppo di qualsiasi progetto meccanico. La lista è la seguente:

- 1. sicurezza**
- 2. ergonomia e proprietà formali**
- 3. producibilità**
- 4. controllabilità e qualità**
- 5. assamblabilità**
- 6. trasportabilità**
- 7. funzionalità e affidabilità**
- 8. manutenibilità**
- 9. costi**
- 10. tempi**
- 11. riciclabilità**

La lista non prevede l'applicazione di una metodologia specifica, ma rappresenta semplicemente una serie di parametri generali di cui tener conto, parametri che potrebbero essere stati trascurati durante l'indagine, specialmente nei sistemi dove si verifica un esubero di dati.

### 3.2.3 Il metodo TRIZ

Il metodo denominato “**TRIZ**” deriva dall’acronimo russo di “*Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch*“, che significa “Teoria per la soluzione inventiva dei problemi”. Il presente, inventato e costruito da Genrich Altshuller (1926-1998) a partire dal 1946 si propone di fornire a chiunque lo adotti un sistema in grado di elevare il grado di inventiva, di originalità del suo progetto, inteso in maniera completamente generale, sia esso un prodotto, un sistema, appartenente a qualunque natura.

Questo metodo si presenta così versatile e flessibile poiché Altshuller prima ed i suoi collaboratori in seguito hanno scoperto che i processi mentali di invenzione sono sempre i medesimi, senza distinzioni derivanti dalla natura del problema in sé.

Questa scoperta è nata dal posto di lavoro di Altshuller che, come Einstein, era impiegato all’ufficio brevetti ed è proprio attorno ai brevetti, alle invenzioni, che questo studioso è riuscito a decifrare i meccanismi che intervengono dietro alle “invenzioni”.

Combinare poi questo risultato importantissimo con la decodifica dei processi stessi ha permesso lo sviluppo di un metodo di lavoro destinato non tanto alla progettazione, quanto all’invenzione pura, al raggiungimento della soluzione ideale.

Lo studio di Altshuller si è basato, come già accennato, sull’analisi di una notevole quantità di brevetti al fine di scoprire l’attività inventiva insita in ognuno di essi. La stesura di un metodo di progettazione è stata una fase successiva a questa prima attività <sup>[18]</sup>.

#### 3.2.3.1 – Fondamenti del TRIZ

L’assioma su cui è basato tutto il metodo è il seguente: l’evoluzione dei sistemi tecnici è regolata da leggi oggettive. In pratica, lavorando con una enorme quantità di invenzioni, Altshuller è riuscito a riconoscere a monte di queste una linea logica comune, che è riuscito poi ad enunciare, in più ha poi cercato di codificare cosa fosse esattamente l’attività inventiva cercandone traccia nei brevetti e dandole una definizione ed una classificazione.

Risultato è stata la stesura delle tre leggi fondamentali del TRIZ, senza le quali il metodo stesso non avrebbe significato.

Le tre leggi sono:

1. i sistemi tecnici evolvono secondo leggi oggettive e tendono ad aumentare il loro grado di idealità;
2. qualsiasi problema tecnico specifico può essere ricondotto, mediante un processo di astrazione, ad un modello generale ed i processi logici di risoluzione possono essere raggruppati in un numero finito di principi risolutivi;

I 40 principi							
1	segmentazione	11	ammortizzamento anticipato	21	azione rapida	31	uso di un materiale poroso
2	estrazione	12	equipotenzialità	22	conversione di un male in un beneficio	32	cambiamento di colore
3	quantità locale	13	inversione	23	retroalimentazione	33	omogeneità
4	asimmetria	14	sferoidaltà	24	mediazione	34	scarto e rigenerazione delle parti
5	combinazione	15	dinamicità	25	autosensibilo	35	trasformazione di un parametro fisico
6	universalizzazione	16	azione parziale o sovrabbondante	26	copia	36	cambiamento di fase
7	arricchimento	17	trasporto ad una nuova dimensione	27	oggetto economico di breve durata	37	espansione termica
8	contrappeso	18	vibrazione meccanica	28	sostituzione di un sistema meccanico	38	uso di un forte ossidante
9	reazione preventiva	19	azione periodica	29	uso di un impianto pneumatico od elettodinamico	39	ambiente inerte
10	azione preventiva	20	perseguimento di una azione utile	30	pellicola flessibile o membrana	40	materiale composto

I 39 parametri ingegneristici							
1	peso dell'oggetto mobile	11	tensione pressione	21	potenza	31	fattori nocivi "collaterali"
2	peso dell'oggetto fisso	12	forma	22	perdita di energia	32	possibilità di costruzione
3	lunghezza dell'oggetto mobile	13	stabilità dell'oggetto	23	perdita di sostanza	33	convenienza dell'uso
4	lunghezza dell'oggetto fisso	14	esistenza	24	perdita di informazioni	34	riparabilità
5	area dell'oggetto mobile	15	durata dell'oggetto mobile	25	perdita di tempo	35	adattabilità
6	area dell'oggetto fisso	16	durata dell'oggetto fisso	26	quantità di materia	36	complessità di dispositivo
7	volume dell'oggetto mobile	17	temperatura	27	affidabilità	37	complessità di controllo
8	volume dell'oggetto fisso	18	luce/temperatura	28	accuratezza della reazione azione	38	livello di informazione
9	velocità	19	energia spesa dal movimento	29	accuratezza della costruzione	39	produttività
10	forza	20	energia spesa dal non movimento	30	fattori nocivi che agiscono		

Numero finito di principi di risoluzione

I 39 parametri ingegneristici							
1	peso dell'oggetto mobile	11	tensione pressione	21	potenza	31	fattori nocivi "collaterali"
2	peso dell'oggetto fisso	12	forma	22	perdita di energia	32	possibilità di costruzione
3	lunghezza dell'oggetto mobile	13	stabilità dell'oggetto	23	perdita di sostanza	33	convenienza dell'uso
4	lunghezza dell'oggetto fisso	14	resistenza	24	perdita di informazioni	34	riparabilità
5	area dell'oggetto mobile	15	durata dell'oggetto mobile	25	perdita di tempo	35	adattabilità
6	area dell'oggetto fisso	16	durata dell'oggetto fisso	26	quantità di materia	36	complessità del dispositivo
7	volume dell'oggetto mobile	17	temperatura	27	affidabilità	37	complessità di controllo
8	volume dell'oggetto fisso	18	lucidezza	28	accuratezza della misura azione	38	livello di automazione
9	velocità	19	energia spesa dal movimento	29	accuratezza della costruzione	39	produttività
10	forza	20	energia spesa dal non movimento	30	fattori nocivi che agiscono		

3. dato il numero finito di modelli e di principi risolutivi, soluzioni concettualmente identiche possono essere applicate a problemi tecnici apparentemente diversi.



Queste leggi, nonostante possano sembrare ovvie, rappresentano l'effettiva novità che sta dietro al metodo, stanno ad indicare che il TRIZ non è una procedura casuale, non dipende né dalle capacità né tantomeno dalla fortuna delle persone che lo mettono in pratica ed è pertanto espandibile e fruibile da chiunque, per qualunque genere di problema si abbia da risolvere. Ed introducono soprattutto il fatto che il numero di principi risolutivi di un problema non è infinito, ma limitato ed enumerabile.

Un'ulteriore osservazione che scaturisce dalla lettura delle leggi è che la conoscenza, la cultura e la documentazione di coloro che lavorano col TRIZ è fondamentale per raggiungere un buon risultato. Una conoscenza approfondita permette di sfruttare più principi di soluzione e dunque di conferire al risultato del metodo un grado di idealità di molto superiore a quello precedente, nel caso si debba evolvere un sistema o comunque di costruire da zero qualcosa di già raffinato. Anche l'accesso ad una banca dati ricca di soluzioni rappresenta una risorsa importantissima del metodo, il che viene poi maggiormente potenziato dai moderni sistemi telematici.

Il TRIZ è un metodo generale, un metodo che si applica ai sistemi, cioè a qualunque cosa debba svolgere una determinata funzione. Il sistema oggetto del metodo non deve essere obbligatoriamente meccanico ma può anche essere rivolto alla gestione di risorse umane, all'informatica, alla medicina ecc. un sistema poi può essere composto da più sottosistemi e quant'altro. Altshuller, sempre durante l'analisi delle invenzioni, ha riscontrato che non tutte erano equivalenti dal punto di vista dell'inventiva, dell'originalità. Qualcuna rappresentava un'idea brillante, qualcun'altra invece non si trattava altro che di un miglioramento della condizione preesistente. Le invenzioni sono state pertanto classificate secondo cinque livelli di innovazione:

- 1. miglioramento della condizione già esistente;**
- 2. risoluzione di una problematica tecnica;**
- 3. risoluzione di una problematica fisica;**
- 4. scoperta di una nuova tecnologia;**
- 5. scoperta di un nuovo fenomeno.**

Lo studio condotto ha mostrato che circa il 77% di tutti i brevetti, purtroppo, apparteneva ai primi due livelli, mentre solo la minima parte superava il terzo livello.

Livello	Grado di inventiva	% del numero di soluzioni esaminate	Sorgente della conoscenza	Numero approssimativo di varianti da considerare
<b>1</b>	Soluzione apparente	32%	Conoscenza personale	<b>10</b>
<b>2</b>	Piccolo miglioramento	45%	Conoscenza di un piccolo gruppo di persone	<b>100</b>
<b>3</b>	Grande miglioramento	18%	Ricerca di un team aziendale	<b>1000</b>

			<i>Ricerca di un</i>	
<b>4</b>	Nuovo concetto	4%	<i>gruppo di</i>	<b>100000</b>
			<i>aziende</i>	
<b>5</b>	<b>Scoperta</b>	<b>1%</b>	<b>/</b>	<b>1000000 e oltre...</b>

Livelli di innovazione e gradi di inventiva

Da quello che si può vedere in tabella, mano a mano che il livello di innovazione aumenta, anche il numero di possibilità di soluzione cresce, da qui deriva la necessità di avere un metodo in grado di gestire una così ampia gamma di scelte.

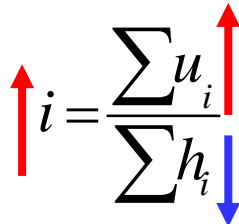
Il metodo TRIZ si propone di fornire gli strumenti per raggiungere il risultato di ottenere un notevole progresso all'interno dell'evoluzione di un sistema.

La prima legge del TRIZ riguarda il **grado di idealità**. Per idealità si intende in pratica “quanto un sistema rispecchi l'idea dalla quale è scaturita la progettazione”. Intendendo il grado di idealità come un numero, è possibile scrivere la seguente espressione:

$$i = \frac{\sum u_i}{\sum h_i}$$

Dove “ $u_i$ ” rappresenta tutti i benefici portati dal sistema ed “ $h_i$ ” invece tutte le problematiche e criticità insite in esso.

Nell'evoluzione del sistema si cerca contemporaneamente di abbassare il numero delle caratteristiche negative o di alleviarne la criticità e di aumentarne contemporaneamente i benefici, pertanto di incrementare l'indice  $i$ .



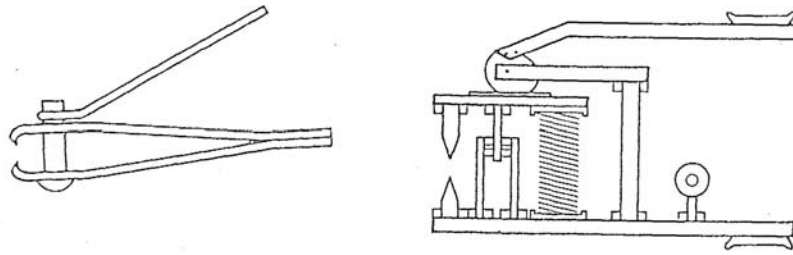
$$i = \frac{\sum u_i}{\sum h_i}$$

The diagram shows the formula with a red arrow pointing up next to the index  $i$ , a red arrow pointing up next to the numerator  $\sum u_i$ , and a blue arrow pointing down next to the denominator  $\sum h_i$ , indicating that the index increases as benefits increase and problems decrease.

Da qui è semplice osservare che maggiormente un sistema tende all'idealità, tanto più esso sarà efficiente, flessibile, comodo, economico ecc...

Il TRIZ ha identificato quattro diverse strategie adottabili per aumentare il grado di idealità di un sistema:

- *aumentare il numero di funzioni del sistema stesso;*
- *inglobare le funzioni nello stesso organo;*
- *trasferire determinate funzioni ad un livello superiore o lasciarle ad un sovrasisistema;*
- *sfruttare risorse già presenti nel sistema precedentemente trascurate.*



### Differenza tra gradi di idealità

Queste strategie rappresentano le direzioni che è possibile intraprendere per aumentare il grado di idealità, tuttavia è noto che questo processo comporta affrontare e risolvere determinate problematiche tecniche o fisiche.

Si ha una problematica quando la modifica di un determinato parametro di un sistema è tale da mettere in crisi un altro parametro correlato. Raggiungere una soluzione significa dunque risolvere questo problema. Per far ciò il TRIZ ha sviluppato 40 principi di soluzione, attraverso ai quali è possibile intervenire senza far insorgere altre criticità, evitando sostanzialmente un effetto domino.

*PE: incrementare la potenza di un motore di automobile per aumentare la velocità innesca tutta una serie di problematiche tecniche da risolvere, quali garantire la resistenza del telaio ad un peso maggiore ed una coppia superiore, aumentare la capienza del serbatoio, assicurare la resistenza delle sospensioni al peso superiore dell'auto ecc... Il TRIZ suggerisce di lavorare sui materiali, come ad esempio i compositi, molto resistenti e molto leggeri. Questa alternativa non introduce nuove criticità di natura tecnica poiché lo stesso motore, dovendo spingere un mezzo più leggero, consentirà indubbiamente una velocità superiore.*

*L'uso di materiali costosi come i compositi introduce però una problematica fisica. Per fisica non si intende specificatamente la materia, quanto qualcosa di non tecnico. La criticità è indubbiamente quella del costo, in quanto i materiali compositi costano circa sei volte un acciaio. Il TRIZ, attraverso il principio del contrappeso, suggerisce di cercare il risparmio in un altro campo, in modo da lasciare inalterati i costi di produzione ed il prezzo del prodotto.*

L'analisi delle problematiche rappresenta una fase fondamentale dell'applicazione del metodo, proprio perché da esse, come si è visto, parte il procedimento rivolto allo sviluppo e all'innovazione.

Altshuller ha anche analizzato aspetti salienti ed i metodi di evoluzione di un sistema tecnico generale, riconoscendone otto:

1. **ciclo di vita;**
2. **dinamizzazione;**
3. **moltiplicazione;**
4. **transizione da macro a micro;**
5. **sincronizzazione;**
6. **scalata in alto o in basso;**
7. **irregolare sviluppo di parti;**
8. **sostituzione di attività umane, automazione.**

Nel primo, con **“ciclo di vita”**, si intende semplicemente delle fasi di nascita-funzionamento-dismissione di un qualsiasi sistema.

*PE: progettare a “vita finita”, accettare la propagazione di un difetto fino ad un certo limite, oppure cercare di allungare semplicemente la durata di un componente*

Il modello di **“dinamizzazione”** riguarda quei sistemi che quando nascono si presentano in una configurazione rigida, poi vengono quando sviluppati vengono resi più flessibili, regolabili o più genericamente, in movimento.

*PE: i primi velocipedi non si potevano adattare all'altezza del ciclista, oggi le selle delle biciclette sono montate su un supporto telescopico.*

La **“moltiplicazione”** si ha invece quando un sistema viene arricchito di altri elementi. Quando poi questi elementi ulteriori appartengono alla stessa natura del primo si parla di un sistema **omogeneo**, altrimenti **eterogeneo**.

*PE: la telefonia cellulare ha prima visto uno sviluppo nella comunicazione passando dalle chiamate ai messaggi di testo (omogeneo), dopodichè gli apparecchi portatili sono stati arricchiti di tantissime altre caratteristiche, tra cui fotocamere ecc... (sistema eterogeneo).*

La **“transizione da macro a micro”** tratta dell'evoluzione di un sistema dove questo viene reso sempre più piccolo e compatto.

Il modello di **“sincronizzazione”** prevede l'introduzione di un legame temporale tra i sistemi.

*PE: mettere due sistemi in parallelo, come i pistoni di un motore.*

La **scalata dall'alto in basso** intende costituire un certo numero di sottosistemi specifici per ogni funzione, sottraendo funzioni ad un sistema superiore. La discesa nello specifico consentirà poi una miglior applicazione del principio di soluzione ed eventualmente una facile sostituzione dei componenti ecc...

L'**irregolare sviluppo di parti** avviene quando di un sistema vengono curate maggiormente degli aspetti ed invece trascurati degli altri. Si ottengono pertanto dei sistemi molto efficienti solo in determinate caratteristiche.

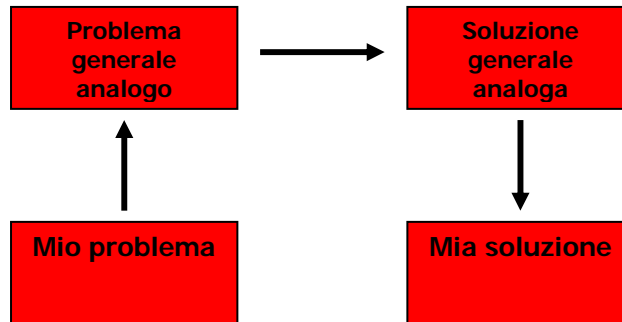
*PE: le auto sportive vedono l'impiego di altissime tecnologie nel motore, nel telaio, nelle sospensioni e nei freni. Comodità, capienza del bagagliaio ed altri aspetti non vengono nemmeno presi in considerazione.*

Con automazione infine si intende proprio la sostituzione delle attività umane in un particolare lavoro. Si tratta del campo delle macchine automatiche, da quelle domestiche (lavatrici, stampanti per PC) a quelle industriali per assemblaggi ecc...

### 3.2.3.2 – Strumenti del TRIZ

Una volta introdotto il metodo di lavoro, passiamo a considerare gli strumenti che questo metodo mette a disposizione per “inventare”.

Genericamente, davanti ad un problema si cerca di seguire un ragionamento del tipo:



Schema metodo generico

dove in pratica si cerca di estendere in maniera generale la problematica, raggiungere una soluzione concettuale (progettata o copiata) poi applicarla nello specifico.

Nello sviluppo logico di soluzione, adottando l’uso del TRIZ, lo svolgimento di un progetto diventa:

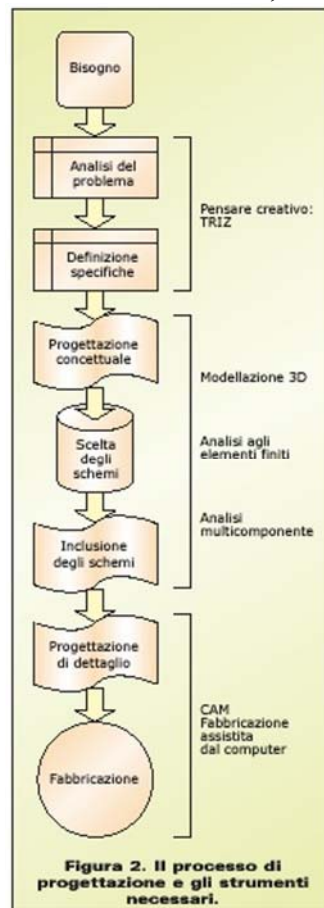


Figura 2. Il processo di progettazione e gli strumenti necessari.

Schema metodo TRIZ

Il metodo entra, come il QFD all’inizio della fase di progettazione, anche se, come vedremo, le differenze del QFD sono sostanziali. Una volta codificato il bisogno il processo logico del metodo guida il progettista dalla chiarificazione del compito fino alla stesura delle specifiche.

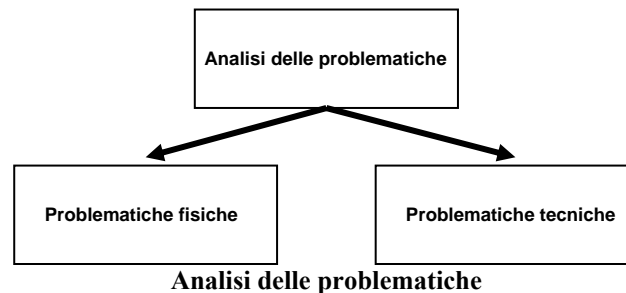
Innanzitutto, col TRIZ, avviene un'analisi approfondita rivolta completamente a costruire quello che viene chiamato **IFR** “*ideal final result*”, cioè il risultato finale ideale. Questo IFR non è altro che l'idea del prodotto finale, il non plus ultra di quello che si desidera ottenere, il prodotto corredato di tutte le caratteristiche possibili.

Tutto quello che viene svolto per raggiungere l'IFR non è altro che una chiarificazione del compito, un'analisi delle problematiche e quant'altro intervenga nella risoluzione del problema.

Quando diventa noto quello che si vuole ottenere si è anche in possesso, automaticamente, di una documentazione accurata riguardante tutta la serie delle **criticità del problema**.

Arrivati a questo punto è necessario prendere in esame queste criticità e risolverle. L'analisi delle problematiche si divide in due tronconi:

1. **problematiche fisiche;**
2. **problematiche tecniche.**



Le problematiche fisiche sono rappresentate da quel genere di problemi che riguardano la “fisica”, la “chimica” o che comunque sorgono da aspetti non tecnologici.

*PE: la necessità di avere un polimero con determinate caratteristiche è una problematica di natura chimica, quindi entra nella classe della “fisica”.*

*Altrimenti, la necessità di risparmio di denaro è una problematica di natura economica che entra anch'essa nella zona “fisica”.*

Le problematiche fisiche, secondo quanto prescrive il metodo, devono essere le prime ad essere affrontate e risolte, almeno quando è possibile. Una soluzione che appartenga a questa categoria consente un grosso incremento nel livello di innovazione e di conseguenza l'ottenimento di un risultato migliore ed appetibile rispetto ad un intervento tecnico, senza contare il fatto che questa fase di lavoro non diventa più necessaria.

La risoluzione delle problematiche fisiche viene svolta facendo riferimento ai 40 principi di soluzione, principi che verranno spiegati in seguito in maniera più approfondita e descritti nel dettaglio in appendice. Conseguire questo obiettivo porta con sé, spessissimo, anche una scoperta di carattere fisico oppure comunque un notevolissimo progresso nello sfruttamento di quanto già apparteneva al bagaglio culturale. Quando, per vari motivi, non si riesce ad intervenire dal punto di vista fisico, per esempio quando non si raggiunge alla scoperta di un nuovo fenomeno, allora entra in gioco lo studio delle problematiche tecniche.

Questo genere di criticità sono quelle che appartengono all'ambito tecnico del problema. Con tecnico, come nel caso precedente, non si intende esplicitamente meccanico, quanto “appartenente alla tecnica del problema”, rivolto allo studio di “tecnici del settore”.

*PE: un problema di computer può essere risolto da tecnici informatici, oppure una gestione economica da dottori commercialisti ecc...*

Per l'analisi e la soluzione delle problematiche tecniche, il metodo mette a disposizione 39 parametri ingegneristici o tecnici, che sono quella serie di caratteristiche generali dei sistemi, caratteristiche che entrano in conflitto tra loro e che generano appunto i problemi da risolvere.

Nello svolgimento del lavoro diventa indispensabile riconoscere e selezionare da questa lista quei parametri che entrano nel problema e soprattutto riuscire a mettere in evidenza la relazione reciproca di ognuno, quando è presente.

I parametri sono i seguenti:

I 39 parametri ingegneristici							
1	peso dell'oggetto mobile	11	tensione/pressione	21	potenza	31	fattori nocivi "collaterali"
2	peso dell'oggetto fisso	12	forma	22	perdita di energia	32	possibilità di costruzione
3	lunghezza dell'oggetto mobile	13	stabilità dell'oggetto	23	perdita di sostanza	33	convenienza dell'uso
4	lunghezza dell'oggetto fisso	14	resistenza	24	perdita di informazioni	34	riparabilità
5	area dell'oggetto mobile	15	durata dell'oggetto mobile	25	perdita di tempo	35	adattabilità
6	area dell'oggetto fisso	16	durata dell'oggetto fisso	26	quantità di materia	36	complessità del dispositivo
7	volume dell'oggetto mobile	17	temperatura	27	affidabilità	37	complessità di controllo
8	volume dell'oggetto fisso	18	lucentezza	28	accuratezza della misurazione	38	livello di automazione
9	velocità	19	energia spesa dal movimento	29	accuratezza della costruzione	39	producibilità
10	forza	20	energia spesa dal non movimento	30	fattori nocivi che agiscono sull'oggetto		

I 39 parametri ingegneristici o tecnici

Le indicazioni in elenco sono ovviamente di carattere generale, tuttavia comprendono tutte le casistiche che si possono incontrare nella pratica.

Una volta individuati i parametri adeguati, il metodo descrive una procedura per ordinare e risolvere le problematiche che nascono dall'interrelazione tra essi.

Viene costruita una matrice specifica detta "matrice delle criticità", che indicativamente ha questo aspetto:

Feature to Improve	Undesired Result (Conflict)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		Weight of moving object	Weight of non-moving object	Length of moving object	Length of non-moving object	Area of moving object	Area of non-moving object	Volume of moving object	Volume of non-moving object	Speed	Force	Tension, pressure	Shape	Stability of object
1	Weight of moving object			15,8, 29,34		29,17 38,34		29,2 40,28		2,6, 15,38	8,10, 18,37	10,36, 37,40	10,14, 35,40	1,35, 19,39
2	Weight of non-moving object				10,1, 29,35	35,30 13,2			5,35, 14,2		8,10, 19,35	13,29, 10,18	13,10, 29,14	26,39 1,40
3	Length of moving object	8,15, 29,34				15,17 4		7,17, 4,35		13,4, 8	17,10 4	1,8, 35	1,8, 10,29	1,8, 15,34
4	Length of non-moving object		35,28 40,29				17,7, 10,40		35,8, 2,14		28,10	1,14, 35	13,14, 15,7	39,37 35
5	Area of moving object	2,17, 29,4		14,15, 18,4				7,14, 17,4		29,30 4,34	19,30 35,2	10,15, 36,28	5,34, 29,4	11,2, 13,39
6	Area of non-moving object		30,2, 14,16		26,7, 9,39						1,18, 35,36	10,15, 36,37		2,38
7	Volume of moving object	2,26, 29,40		1,7, 4,35		1,7, 4,17				29,4, 38,34	15,35, 36,37	6,35, 36,37	1,15, 29,4	28,10 1,39
8	Volume of non-moving object		35,10 19,14	19,14	35,8, 2,14						2,18, 37	24,35	7,2, 35	34,28 35,40
9	Speed	2,28, 13,38		13,14, 8		29,30, 34		7,29, 34			13,28 15,19	6,18, 38,40	35,15, 18,34	28,33 1,18
10	Force	8,1, 37,18	18,13, 1,28	17,19, 9,36	28,10	19,10, 15	1,18, 36,37	15,9, 12,37	2,36, 18,37	13,28 15,12		18,21, 11	10,35, 40,34	35,10 21
11	Tension, pressure	10,36 37,40	13,29 10,18	35,10 36	35,1, 14,16	10,15 36,25	10,15 35,37	6,35, 10	35,24 36	6,35, 21	36,35 36		35,4, 15,10	35,33 2,40
12	Shape	8,10, 29,40	15,10, 26,3	29,34, 5,4	13,14, 10,7	5,34, 4,10		14,4, 15,22	7,2, 35	35,15 34,18	35,10 37,40	34,15 10,14		33,1, 18,4
13	Stability of object	21,35 2,39	26,39 1,40	13,15 1,28	37	2,11, 13	39	28,10 19,39	34,28 35,40	33,15 28,18	10,36 21,16	2,35, 40	22,1, 18,4	
14	Strength	1,8, 40,15	40,26 27,1	1,15, 8,35	15,14 28,26	3,34, 40,29	9,40, 28	10,15 14,7	9,14, 17,15	8,13, 26,14	10,18 3,14	10,3, 18,40	10,30 35,40	13,17 35
15	Durability of moving object	19,5, 34,31		2,19, 9		3,17, 19		10,2, 19,30		3,35, 5	19,2, 16	19,3, 27	14,26 28,25	13,3, 35
16	Durability of non-moving object		6,27, 19,16		1,10, 35				35,34 38				39,3, 35,23	
17	Temperature	36,22 6,38	22,35 32	15,19 9	15,19 9	3,35, 39,18	35,38	34,39 40,18	35,6, 4	2,28, 36,30	35,10 3,21	35,39 19,2	14,22 19,32	1,35, 32
18	Brightness	19,1 32	2,35, 32	19,32 16		19,32 26		2,13, 10		10,13 19	26,19 6		32,30	32,3, 27
19	Energy spent by moving object	12,18 28,31		12,28		15,19 25		35,13 18		8,15, 35	16,26 21,2	23,14 25	12,2, 29	19,13 17,24
20	Energy spent by non-moving object		19,9, 6,27								36,37			27,4, 28,18

Estratto della matrice delle criticità

Questa tabella funziona in questo modo: sia nelle righe che nelle colonne vengono inseriti tutti i parametri ingegneristici che entrano nel problema. Nelle colonne vengono chiamati “**effetti indesiderati**”, mentre nelle righe “**caratteristiche da migliorare**”. Questa disposizione prevede praticamente che le medesime caratteristiche vengano viste sia come problematica sia come via di intervento per raggiungere la soluzione del problema.

Una volta organizzato tutto questo si effettua una scansione per colonne cercando di rispondere alla domanda: “come posso intervenire sulla caratteristica per risolvere la problematica”.

*PE: facendo riferimento alla tabella, prendendo come esempio l'effetto indesiderato numero 3 “lunghezza dell'oggetto mobile”, comincio a scorrere verso il basso la colonna ed incontro subito la caratteristica “peso dell'oggetto mobile”. Da qui mi chiedo come posso operare sul peso per migliorare la lunghezza e nella casella relativa all'incrocio indico i quelli tra i 40 principi che entrano nel problema. I principi sono quelle linee guida, quei suggerimenti da seguire per raggiungere la soluzione del problema.*

Come si può vedere dunque, i principi di soluzione sono lo strumento più potente del TRIZ, una sorta di “lente” di analisi dei problemi, lente che permette anche il raggiungimento della soluzione in molti testi si fa riferimento infatti ad un “**prisma del TRIZ**”.

Consideriamo dunque in dettaglio i principi. Come già detto Altshuller è riuscito a raggruppare in un unico insieme tutta quella serie di indicazioni generali d'intervento sui problemi, scoprendo che hanno un numero finito, per la precisione 40 e che sono applicabili a qualsiasi problema.

Quando è stato detto che il metodo poteva essere sfruttato da una gamma molto ampia di categorie, si intendeva proprio che è grazie alla potenza ed alla versatilità di quest'ultimo strumento che tutto ciò è reso possibile.

I 40 principi sono:



I 40 principi							
1	segmentazione	11	ammortizzamento anticipato	21	azione rapida	31	uso di un materiale poroso
2	estrazione	12	equipotenzialità	22	conversione di un male in un beneficio	32	cambiamento di colore
3	qualità locale	13	inversione	23	retroalimentazione	33	omogeneità
4	asimmetria	14	sferoidalità	24	mediazione	34	scarto e rigenerazione delle parti
5	combinazione	15	dinamicità	25	autoservizio	35	trasformazione di un parametro fisico
6	universalizzazione	16	azione parziale o sovrabbondante	26	copia	36	cambiamento di fase
7	annidamento	17	trasporto ad una nuova dimensione	27	oggetto economico di breve durata	37	espansione termica
8	contrappeso	18	vibrazione meccanica	28	sostituzione di un sistema meccanico	38	uso di un forte ossidante
9	reazione preventiva	19	azione periodica	29	uso di un impianto pneumatico od oleodinamico	39	ambiente inerte
10	azione preventiva	20	proseguimento di una azione utile	30	pellicola flessibile o membrana	40	materiale composto

I 40 principi

Ognuno di essi rappresenta una strada percorribile per raggiungere una soluzione e la proprietà particolare di ognuno di essi è che evita le introduzioni di nuove problematiche.

Quando viene svolta questa fase del metodo, l'applicazione o la combinazione dei principi costituisce un "concetto", una "variante di soluzione" relativa ad una specifica problematica.

I progettisti dovranno ordinare in maniera indipendente tutta questa lista e provvedere alla stesura dei disegni costruttivi.

Nel TRIZ è assente dunque lo strumento invece molto utile che conclude il QFD: la matrice morfologica.

La lista di concetti è, dunque, lo strumento quanto più analogo il TRIZ possiede in comune col QFD.

Fattore positivo nella lista di concetti è che proprio per come sono stati ottenuti non esistono combinazioni di essi che possano dare luogo a contraddizioni, mentre invece nella matrice morfologica molte varianti non sono proprio realizzabili e va svolto dunque un lavoro di selezione a posteriore delle varie proposte di soluzione.

### 3.3 L'Applicazione: le tecniche di applicazione

Tra le più importanti tecniche di applicazione (che nella presente tesi saranno trattate nel capitolo 'L'Esperienza Aziendale'), citiamo: la pianificazione (o analisi dei tempi), il budget (o analisi dei costi), l'avanzamento. Qui di seguito si riporta uno strumento molto utilizzato per il controllo dell'avanzamento, ovvero la LPA, Lista dei Problemi Aperti.

#### 3.3.1 I Sistemi di Controllo dell'Avanzamento: la Lista dei Problemi Aperti (LPA)

Durante la fase di avanzamento del progetto è molto importante, per la buona riuscita dello stesso, avere sotto controllo i processi chiave che lo regolano.

Ciò è possibile solo attraverso l'adozione di alcuni strumenti semplici, ma molto efficaci. Tali strumenti sono:

- 1) i piani o diagrammi di gantt: per controllare la pianificazione
- 2) il budget: per controllare i costi
- 3) la LPA (lista dei problemi aperti): per controllare i problemi tecnici

In questo paragrafo si intende illustrare sinteticamente e schematicamente la LPA, che ad oggi, è strumento comune in moltissime aziende di produzione, ma non solo.

LPA (Lista dei Problemi Aperti)						
	Descrizione Criticità	Grado Criticità (R,G,V)	Proposte di Soluzione	Soluzione	Priorità (1-2-3)	Data Chiusura Problema
1	Controllo Regolamento		regolamento vacante	regolamento vacante	1	23/12/05
2	Controllo Brevettuale		il prodotto non esiste	il prodotto non esiste	1	23/12/05
3	1° Analisi fisica e tecnologica delle problematiche generali di utilizzo/funzionamento; aggiornamento dell'indice		il progetto di un nuovo prodotto deve passare da uno studio fisico del problema associato allo studio delle possibili soluzioni tecnologiche da applicare	da redigere doc	2	06/01/06

La LPA serve a tenere aggiornato il progettista, od il team che segue il progetto, sulle principali criticità che lo stesso presenta ancora aperto rispetto ad una determinata fase di avanzamento.

Sulla LPA devono essere indicate, sulle righe, il numero delle criticità che si aprono durante lo svolgimento del progetto e sulle colonne le seguenti voci:

- **Descrizione Criticità:** è la presentazione di un problema trovato durante la progettazione
- **Grado Criticità:** può essere alto (rosso), medio (giallo), risolto (verde)
- **Proposte di Soluzione:** è l'elenco di tutte le soluzioni che vengono in mente al progettista per risolvere il problema
- **Soluzione:** è la soluzione migliore trovata al momento
- **Priorità (1-2-3):** è la priorità temporale con la quale bisogna affrontare il progetto
- **Data chiusura problema:** obiettivo pianificato -> è la data entro la quale bisogna aver risolto la criticità

# *Capitolo 4:*

## *L'Esperienza Aziendale*

## 4.0 Introduzione

Durante gli anni di dottorato, ho avuto la possibilità di vivere un'esperienza molto interessante dal punto di vista formativo e professionale, all'interno di una grande azienda di prodotto nel settore automotive. Tale azienda ricopre un importante ruolo sia a livello nazionale che internazionale nell'ambito della progettazione e produzione di vetture sportive di lusso, tanto da essere un esempio sia per quanto riguarda il *Made in Italy*, sia per quanto riguarda l'*Industrial Design*, sia per quanto riguarda la sua Organizzazione, strettamente legata ai processi di sviluppo prodotto. L'organizzazione aziendale dell'azienda suddetta è stata infatti plasmata tenendo conto delle metodologie di gestione dei suoi progetti di natura meccanica e, spesso, l'organizzazione stessa diventa metodo a sua volta.

Qui di seguito cercherò, nei limiti della segretezza aziendale, di illustrare i più importanti aspetti metodologici di un'azienda di prodotto, nell'ambito automotive e quindi dell'industrial design in genere, a partire dalla sua organizzazione aziendale, per arrivare poi all'analisi dei processi di progettazione e di sviluppo prodotto in genere.

## 4.1 L'Organizzazione Aziendale

L'organizzazione di un'azienda moderna di prodotto tiene conto sostanzialmente di due aspetti: quello relativo alla gestione dell'azienda e quello relativo alla gestione del prodotto.

Il primo trova riscontro, nell'ambito organizzativo, in una struttura verticale, di tipo gerarchico, che fa capo ad un Presidente, ad un Amministratore Delegato, ad un eventuale Direttore Generale ed ad una serie più o meno limitata di Direttori delle varie aree aziendali.

Il secondo, invece, si realizza all'interno delle cosiddette Piattaforme di Sviluppo Prodotto, o più comunemente chiamate Team; i Team sono enti aziendali polifunzionali composti da esperti provenienti da tutte le aree aziendali chiave, per quanto riguarda lo sviluppo del progetto-prodotto.

### 4.1.1 Le Direzioni: il ruolo chiave della Direzione Tecnica e dei Team

Trascurando la figura del Presidente, ruolo per lo più di garanzia e di supervisione, spesso detenuto dal maggior azionista, la responsabilità del *management* ricade totalmente sull'Amministratore Delegato.

A lui rispondono i responsabili di tutte le aree aziendali, a prescindere o meno che siano aree direttamente collegate allo sviluppo del prodotto od aree di staff (quali ad esempio le Risorse Umane o l'Amministrazione).

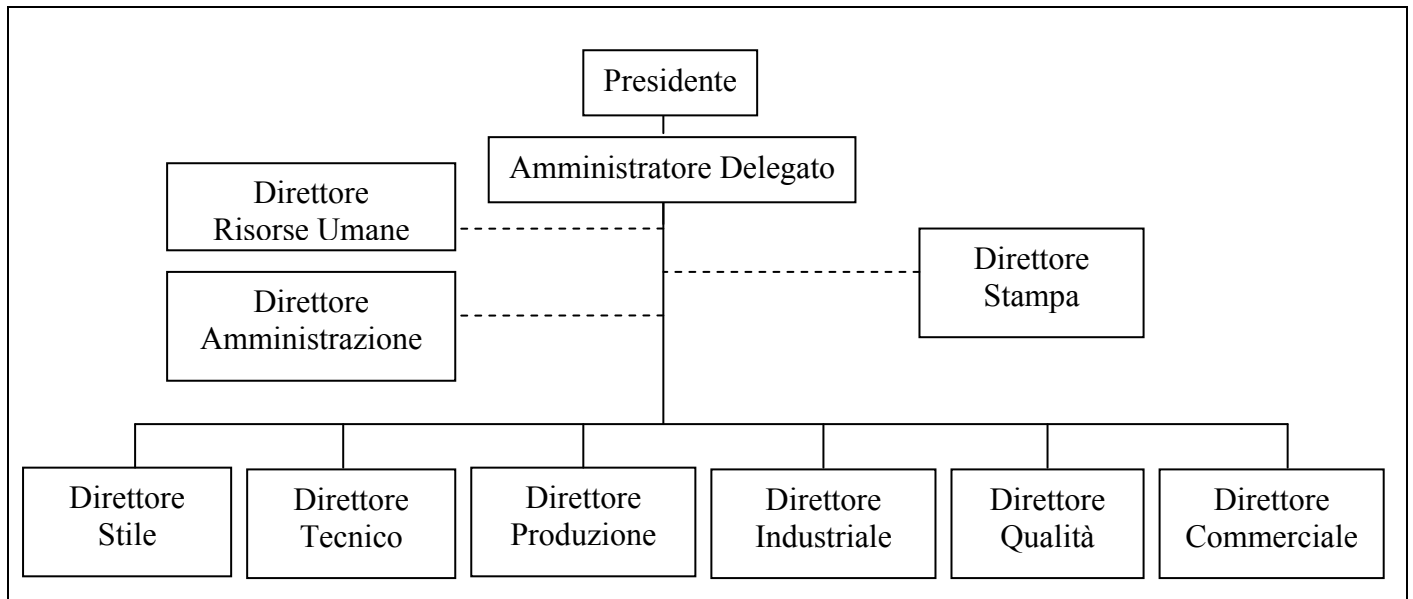
Per quanto riguarda il processo di sviluppo del prodotto, invece, riferiscono direttamente all'Amministratore Delegato, attraverso i loro Direttori, le seguenti aree o Direzioni:

- 1) Direzione Stile
- 2) Direzione Tecnica
- 3) Direzione Produzione
- 4) Direzione Industriale
- 5) Direzione Qualità
- 6) Direzione Commerciale

Mentre le Direzioni di staff principali sono:

- 1) Direzione Risorse Umane
- 2) Direzione Amministrazione Finanza e Controllo
- 3) Direzione Stampa

È facile notare, quindi, che il top management è costituito da un Amministratore Delegato e da sei più tre Direttori, per un totale di dieci persone che rispondono direttamente al Presidente (*vedi organigramma sotto*).



### 1) Direzione Stile (*cenni*)

La Direzione Stile si occupa esclusivamente di dare giudizi stilistici ai prodotti durante il loro sviluppo, oltre che di predisporre a e/o proporre ricerche stilistiche nuove; eventualmente, a tale Direzione l'AD chiede di seguire i lavori di stile affidati a fornitori esterni del settore, altamente specializzati, quali ad esempio Pininfarina, Giugiaro, Zagato, Bertone, ecc.

### 2) Direzione Tecnica

È il cuore dell'azienda. Qui si progettano le vetture. Qui si porta avanti un progetto dalla sua nascita alla sua morte, seguendolo non solo nelle fasi di impostazione ed applicazione, ma anche nella fase di mantenimento.

La struttura della Direzione Tecnica è molto complessa, in quanto deve coprire tutti i bisogni del progetto-prodotto e devono esistere responsabili tecnici pronti a far fronte a qualsiasi bisogno tecnico. Per questo è fondamentale l'aspetto organizzativo.

Il Direttore Tecnico, figura più importante in azienda dopo l'AD, fa riferimento a tre Direttori Funzionali:

- a) Direttore Veicolo
- b) Direttore Motopropulsori
- c) Direttore Sviluppo Prodotto

Il *Direttore Veicolo* ha le responsabilità di coordinare tutte le Funzioni dell'azienda che si occupano di Progettazione e Sperimentazione di tutti i componenti della vettura, ad eccezione di motore e cambio, ed inoltre dell'Omologazione complessiva della vettura.

Il *Direttore Motopropulsori* ha le responsabilità di coordinare tutte le Funzioni dell'azienda che si occupano di Progettazione e Sperimentazione dei componenti di motore e cambio.

Il *Direttore Sviluppo Prodotto* ha le responsabilità di coordinare tutte le Piattaforme (o Team) che hanno a loro volta l'obiettivo di portare in produzione il progetto, facendolo diventare prodotto, nel minore tempo possibile e con i minori costi possibili.

A loro volta, al *Direttore Veicolo* rispondono:

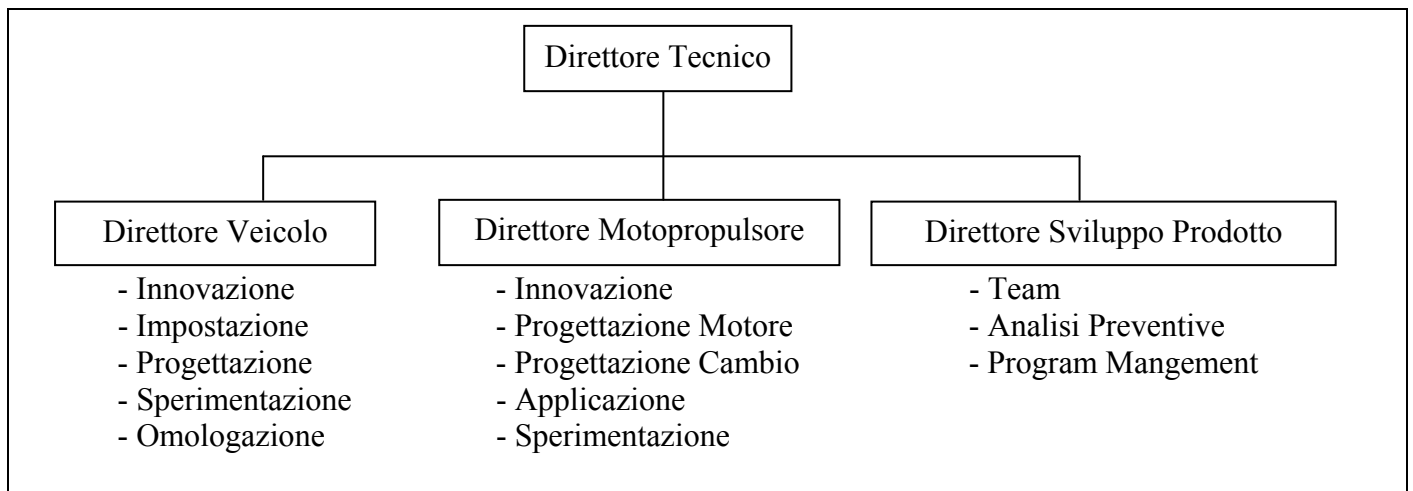
- a) il Responsabile dell'Innovazione Veicolo
- b) il Responsabile dell'Impostazione Veicolo
- c) il Responsabile della Progettazione Veicolo
- d) il Responsabile della Sperimentazione Veicolo
- e) il Responsabile dell'Omologazione Veicolo

al *Direttore Motopropulsore*:

- a) il Responsabile dell'Innovazione Motopropulsore
- b) il Responsabile della Progettazione Motore
- c) il Responsabile della Progettazione Cambio
- d) il Responsabile dell'Applicazione Motopropulsore
- e) il Responsabile della Sperimentazione Motopropulsore

al *Direttore Sviluppo Prodotto*:

- a) i Team Leader
- b) il Responsabile delle Analisi Preventive
- c) il Responsabile del Program Management



E' interessante sottolineare che, mentre le Direzioni Veicolo e Motopropulsore mantengono al loro interno una struttura di tipo verticale *funzionale*, la Direzione Sviluppo Prodotto, invece, attraverso i team si trasforma in struttura di tipo orizzontale, polifunzionale, descritta qui di seguito.

### *I Team interfunzionali*

I team interfunzionali hanno un ruolo chiave all'interno della Direzione Tecnica ed, in particolare, all'interno dell'azienda. Infatti, come detto sopra, essi sono costituiti da elementi provenienti dalle principali aree aziendali coinvolte nello Sviluppo Prodotto, a prescindere che esse siano o meno facenti parte della Direzione Tecnica stessa.

I componenti del Team rispondono ad una figura dirigenziale, il Team Leader, che ha pressoché i pieni poteri in azienda, per quanto concerne il progetto-prodotto di sua competenza. Sul Team Leader ricadono le responsabilità di portare il progetto-prodotto in produzione nei tempi e nei costi più bassi possibili. Per questo nel team esistono figure preposte al controllo, non solo della fase tecnica, ma anche e soprattutto, della fase gestionale, relativa ai tempi ed ai costi. Qui di seguito sono a riportare la struttura tipo di un team:

### 1) Team Leader

#### 1.1) Responsabile Integrazione Veicolo (RIV): è il responsabile tecnico del team

1.1.1) Capo Progetto Carrozzeria (risponde al RIV)

1.1.2) Capo Progetto Motopropulsore (risponde al RIV)

1.1.3) Capo Progetto Autotelaio (risponde al RIV)

1.1.4) Impostatore

1.1.5) Ingegnere di Macchina (risponde al RIV): è il responsabile della sperimentazione

1.1.6) Responsabile di Ente (RdE) di Costruzioni Sperimentali (risponde al RIV): è il responsabile della prototipazione

#### 1.2) Team Planner: è il responsabile dei tempi e dei costi di Ricerca & Sviluppo

#### 1.3) Cost Engineer: è il responsabile dei costi di Produzione (di Investimento ed Unitari)

#### 1.4) RdE Tecnologie: è il responsabile dell'Industrializzazione

#### 1.5) RdE Acquisti: è il responsabile dl rapporto con i fornitori

#### 1.6) RdE Produzione: è il responsabile della *'messa in produzione'*

#### 1.7) RdE Marketing: è il rappresentante dei clienti

### 3) Direzione Produzione (cenni)

La DP è l'ente che si occupa di tutti i processi produttivi dell'azienda; essa può articolarsi in base alle fasi di produzione di una vettura; quindi, al Direttore Produzione rispondono i seguenti responsabili:

- a) Responsabile Area Tecnologica Meccanica (lavorazione e montaggio motori)
- b) Responsabile Area Tecnologica Lastratura (montaggio scocche)
- c) Responsabile Area Tecnologica Verniciatura (verniciatura scocche)
- d) Responsabile Area Tecnologica Carrozzeria (montaggio, revisione e finizione vetture)
- e) Responsabile Costruzione Sperimentali (montaggio prototipi)
- f) Responsabile Fattori Industriali (una sorta di area di staff della produzione)

### 4) Direzione Industriale (cenni)

La DI è l'ente che deve dare supporto alla DT ed alla DP in tutte le fasi ed i processi di progettazione, applicazione e produzione.

In particolare, al Direttore Industriale rispondono:

- a) il Direttore Tecnologie
- b) il Direttore Acquisti

Il primo segue tutto ciò che riguarda l'Industrializzazione, gli Investimenti e gli Impianti; il secondo, invece, i rapporti strategici con i fornitori.

### 5) Direttore Qualità (cenni)

La DQ ha il compito di controllare il prodotto ed il processo realizzativi del prodotto stesso affinché avvenga secondo le procedure aziendali di qualità, efficacia, efficienza e affidabilità.

Per questo motivo, rispondono al Direttore Qualità:

- a) il Responsabile della Qualità Prodotto
- b) il Responsabile della Qualità Processo
- c) il Responsabile della Qualità Fornitori

*6) Direzione Commerciale (cenni)*

La DC è l'ente preposto non solo alla vendita, ma anche alla sua organizzazione, allo sviluppo del brand, al marketing prodotto ed al marketing sales.



## 4.2 Le fasi del Progetto

Un progetto, in azienda, si costituisce tipicamente delle seguenti fasi:

- 1) Analisi di mercato e della concorrenza
- 2) Stesura Brief: documento elencante tutti i contenuti richiesti dal cliente
- 3) Stesura Target Setting: documento elencante gli obiettivi tecnici del progetto-prodotto
- 4) Valutazione dei Tempi: Pianificazione
- 5) Valutazione dei Costi: Budget
- 6) Progettazione, Prototipazione e Sperimentazione
- 7) Controllo dell'Avanzamento
- 8) Delibere Funzionali, Affidabilistiche, Tecniche, Prodotto

### 4.2.1 Analisi di Mercato e della Concorrenza

Questa fase viene eseguita da un gruppo di lavoro, al di fuori dei team e della Direzione Tecnica, afferente alla Direzione Commerciale.

Gli scopi delle analisi di mercato sono:

- a- individuare nicchie di mercato a livello geografico
- b- individuare nicchie di mercato a livello sociale
- c- individuare nicchie di mercato a livello di prezzo
- d- individuare opportunità

Gli scopi delle analisi della concorrenza, invece, sono:

- a- verificare quali costruttori realizzano prodotti simili
- b- verificare quanti costruttori realizzano prodotti simili
- c- individuare quali contenuti innovativi propongono i concorrenti sui loro prodotti
- d- individuare quali contenuti innovativi non propongono i concorrenti sui loro prodotti

L'esito di questo lavoro porta ad avere un documento che sintetizza, in maniera qualitativa, gli obiettivi che deve avere il progetto. Tale documento è solito essere chiamato 'Brief'.

### 4.2.2 Target Setting

A seguito dell'emissione del Brief, il gruppo di lavoro delle Analisi di Mercato e del Marketing Prodotto si deve incontrare con i Team (all'interno del quale sarà rappresentato dall'RdE Marketing per tutta la durata del progetto) per redigere un altro documento, che farà da 'Stella Polare' e sarà la linea guida per il Team stesso nella realizzazione del Progetto-Prodotto.

Tale documento è una sorta di specifica tecnica, in cui sono elencati tutti gli obiettivi del progetto, in termini numerico-quantitativi. *Ad es.:*

Velocità max: > **330 km/h**  
 Accelerazione da 0-100 km/h: < **3,5 sec**  
 Consumo medio: > **5,2 km/l**  
 N° posti in vettura: **2**

.....

### 4.2.3 Pianificazione

Non appena il Team comincia a lavorare sul progetto, si dà il via alla pianificazione, ovvero a quell'attività deputata alla valutazione ed alla stesura dei tempi del progetto.

È un lavoro fondamentale non solo per tutto il team, ma anche per l'azienda intera, in quanto, una volta 'congelati' i tempi del progetto, essi devono rimanere tali fino alla fine ed ogni eventuale slittamento necessita di giustificazioni puntuali ed adeguate alla Direzione.

Il progetto deve essere scomposto in "fasi", e ciascuna fase in una serie di "attività"; inoltre, in base alle risorse (persone) che verranno utilizzate nelle singole attività, verrà quantificato il tempo (giorni o settimane o mesi) necessario per la loro realizzazione.

Va detto che le fasi e le singole attività potranno essere sequenzializzate o parallelizzate a seconda delle necessità o possibilità; inoltre, per ogni attività dovrà essere indicata la data di inizio, verificando che esistano tutte le condizioni per poterla avviare, e la data di possibile fine.

Spesso, laddove un'attività sia sequenziale ad un'altra, si può tenere un margine di tempo quale polmone per eventuali slittamenti dell'attività precedente.

Il tutto deve essere formalizzato, e un modello da utilizzare, potrebbe essere il seguente:

progetto:		(titolo del progetto)			
data inizio:		data fine:		responsabile:	
fase n.		(nome della fase)			
attività		persone coinvolte	risorse materiali (attrezzature/materiali) e finanziarie	Data inizio      fine	
1	descrizione di ogni singola attività	nome delle persone coinvolte	descrizione e quantificazione delle risorse necessarie	data di inizio attività	fine attività prevista
2					
3					
—					
n					

Tra i software maggiormente utilizzati per pianificare, il più famoso è sicuramente Microsoft Project, anche se in alcuni casi risulta molto più semplice adottare Excel, per la sua maggiore flessibilità.

#### 4.2.4 Budget

Non appena i piani delle attività sono redatti, il progetto nella sua fase di impostazione prevede la stesura del budget; cioè, una volta individuate tutte le attività utili a portare a termine il progetto, risulta fondamentale stimare per ciascuna di esse stimarne il costo di Ricerca e Sviluppo, in termini di materiali e prestazioni.

Cioè, per ciascuna attività, si dovranno elencare i costi da sostenere per essere in grado di portarla a termine; quindi, una volta elencati tutti, è possibile fare una somma complessiva dei costi, che ci darà l'ammontare di quanto dovremo spendere per poter realizzare il nostro progetto.

E' utile sintetizzare su un prospetto riepilogativo, i costi previsti in modo da poter verificare durante l'avanzamento del progetto, la coerenza dell'andamento delle attività svolte rispetto alle aspettative e valutazioni preventivate.

##### *Budget di progetto*

	DESCRIZIONE	COSTI MATERIALI (€)	COSTI PRESTAZIONI (€)
1.	Progettazione		
2.	Prototipazione		
3.	Sperimentazione		
4.	Attrezzature		
5.	Prove Affidabilistiche		
	TOTALE		

#### 4.2.5 Progettazione, Prototipazione e Sperimentazione

Queste tre fasi rappresentano effettivamente il cuore del lavoro, in particolare del lavoro di tipo tecnico.

Infatti, in tal caso, si intende per progettazione la fase in cui si decidono e si disegnano effettivamente i componenti da assemblare sul prodotto complesso finale.

Durante la fase di progettazione si deve tener conto degli obiettivi fissati all'interno del Target Setting.

La prototipazione, invece, è quella fase in cui si montano i prototipi, ovvero oggetti di prova con caratteristiche tali da rendere gli stessi significativi ai fini delle verifiche funzionali o affidabilistiche (vedi dopo).

La sperimentazione è quella attività da eseguire sui prototipi atta a verificare la bontà del progetto, attraverso la verifica degli oggetti di prova, mirata al raggiungimento degli obiettivi di Target Setting.

Esistono indicatori idonei a segnalare ai tecnici lo stato di avanzamento di ciascuna delle suddette fasi.

#### 4.2.6 L'Avanzamento: gli indicatori

Tra le varie attività da portare avanti nello sviluppo prodotto in azienda, è di fondamentale importanza quella relativa al controllo dell'avanzamento del progetto.

Una volta definiti gli obiettivi con il target settino, definite le attività con la pianificazione e definiti i costi con il budget, ed una volta partiti con le fasi di progettazione, prototipazione e sperimentazione, è importante nel rispetto del progetto stesso controllare periodicamente se tutto sta procedendo per il meglio.

Ciò accade con le riunioni di avanzamento, che normalmente hanno cadenza settimanale.

Durante dette riunioni, il Team verifica alcuni indicatori, che servono ad avere il polso della situazione.

Qui di seguito saranno riportati alcuni esempi di indicatori di performance aziendali, quali il VLO, l'ICP, le SKA, la significatività degli oggetti di prova, l'R100, le delibere (alle quali sarà dedicato il paragrafo successivo), ecc.

##### a) VLO – Verifica Lay Out

E' un indicatore che misura la bontà del progetto per quanto riguarda il suo lay-out, ovvero le caratteristiche costruttive analizzate nell'ottica della disposizione spaziale dei vari componenti.

Il VLO è un indicatore numerico, una somma di voti di demerito che fanno capire al progettista quanto ha lavorato bene o male: più è alta la numerazione, peggiore è il risultato.

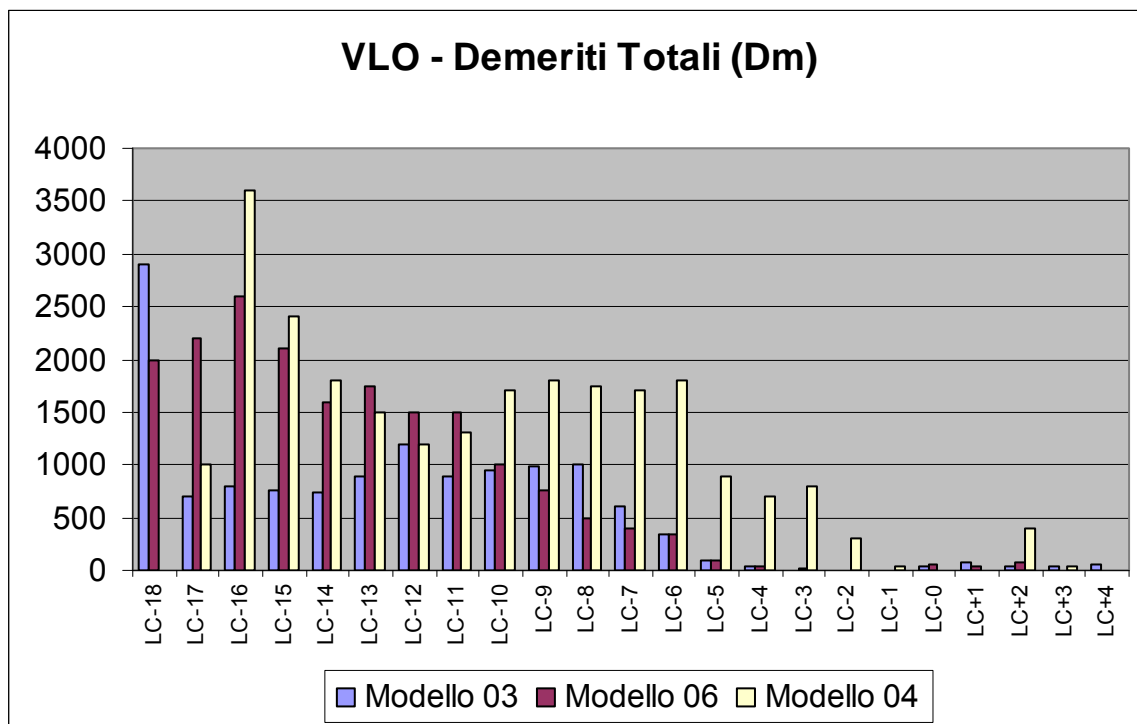
In particolare i voti assegnabili ad un singolo contenuto possono essere 10, 40, 100, in particolare:

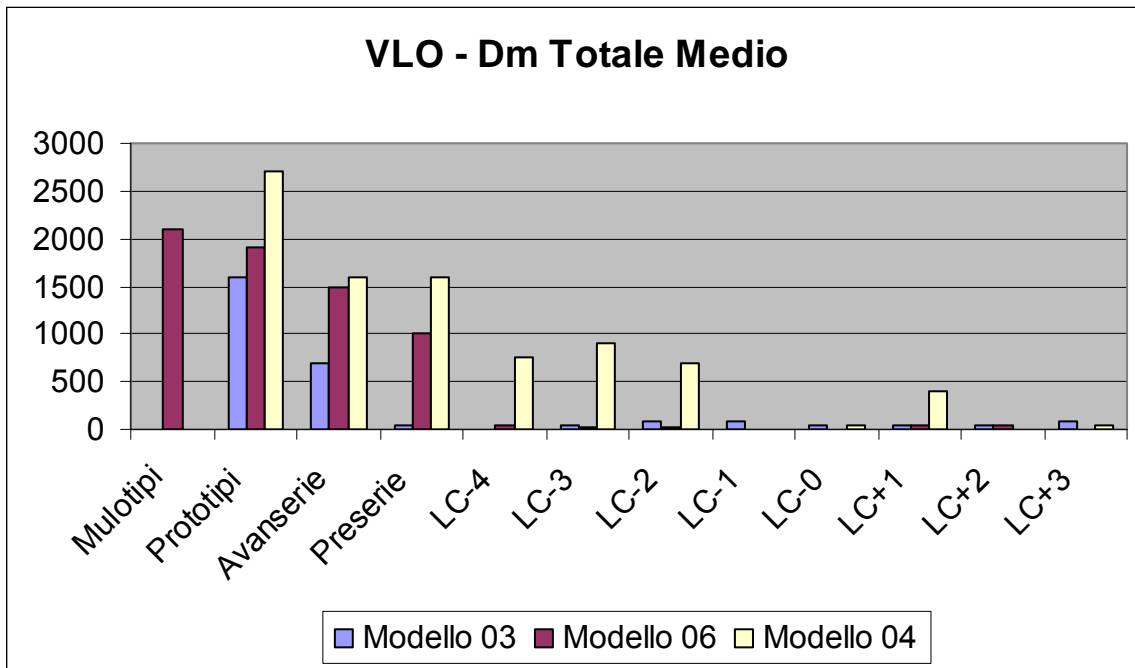
10 equivale ad anomalia di piccola entità

40 equivale ad anomalia di media entità

100 equivale ad anomalia di grande entità

Qui di seguito alcuni grafici relativi a delle analisi aziendali di VLO:



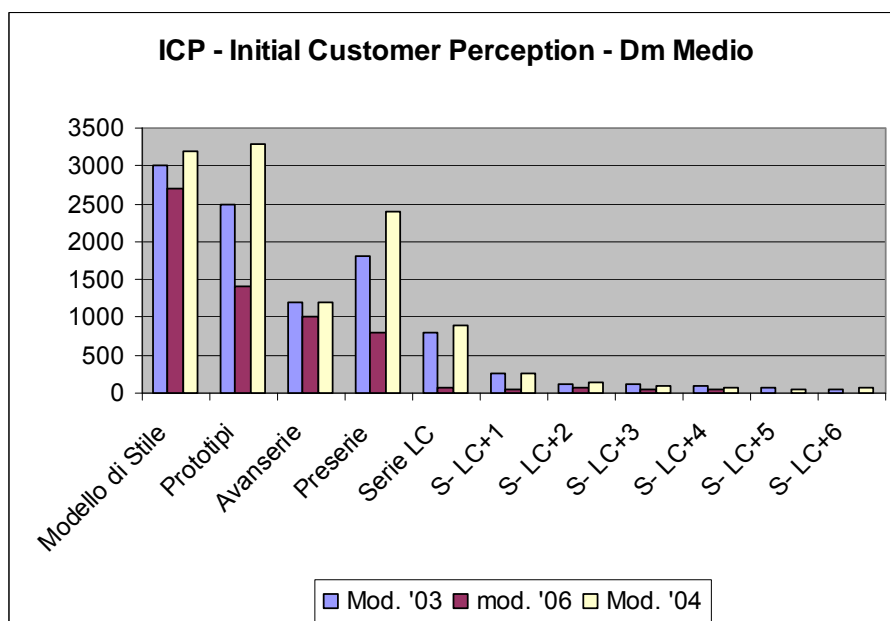


Nella prima immagine è illustrato per tre modelli di vettura diversi (il primo uscito in produzione nel 2003, il secondo nel 2006, il terzo nel 2004), l'andamento dell'indice di VLO in termini di Demerito Totale e di Demerito Medio (NB: LC-X indica i mesi X mancanti al lancio commerciale ed LC+Y indica i mesi Y passati dopo il lancio commerciale; i Mulotipi, i Prototipi, le Avanserie e le Preserie sono le tipologie di oggetti di prova, man mano che progredisce la loro significatività).

#### b) ICP – Initial Customer Perception

L'ICP è un indicatore analogo al VLO, ma che mirato all'analisi dei difetti estetici in una vettura. I 'voti' assegnabili in sede di valutazione ICP sono esattamente gli stessi del VLO.

Qui di seguito un andamento ad esempio di quanto detto sopra.



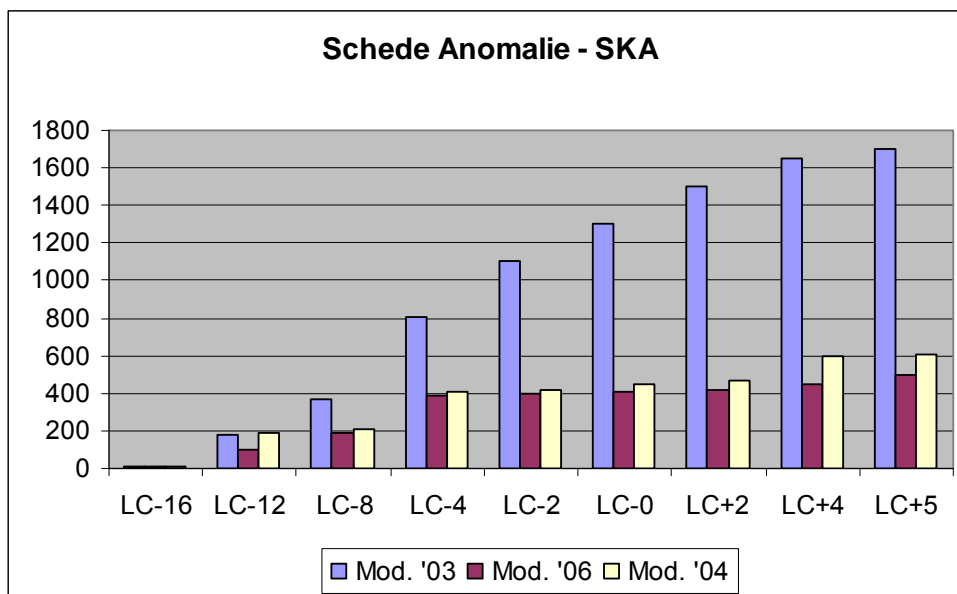
### c) SKA – Schede Anomalie

Con l'avanzare della progettazione, della prototipazione e della sperimentazione, nascono un po' alla volta delle anomalie di progetto, che in sede di designazione iniziale non era possibile prevenire.

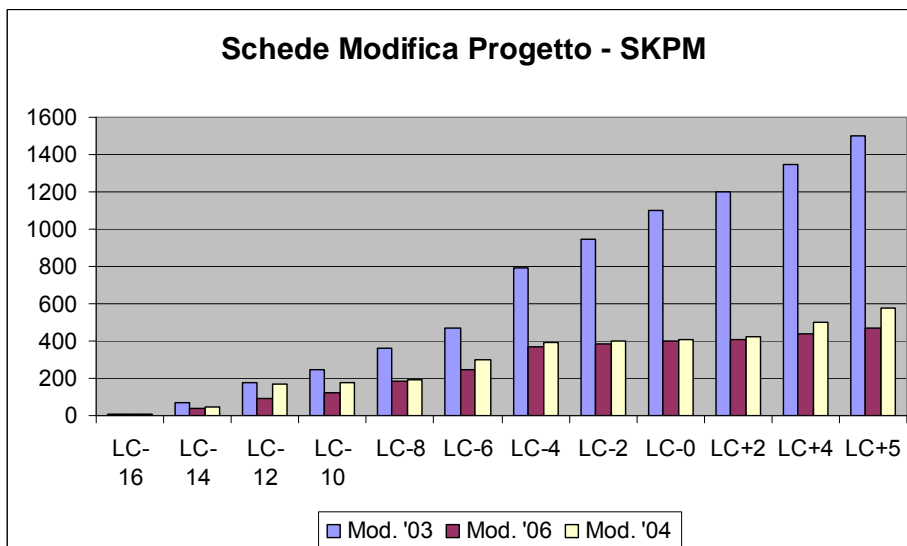
Tali anomalie possono nascere da interferenze di montaggio, catene di tolleranza, difetti funzionali, rotture a carichi inferiori rispetto a quelli previsti, errori da parte dei fornitori, ecc.

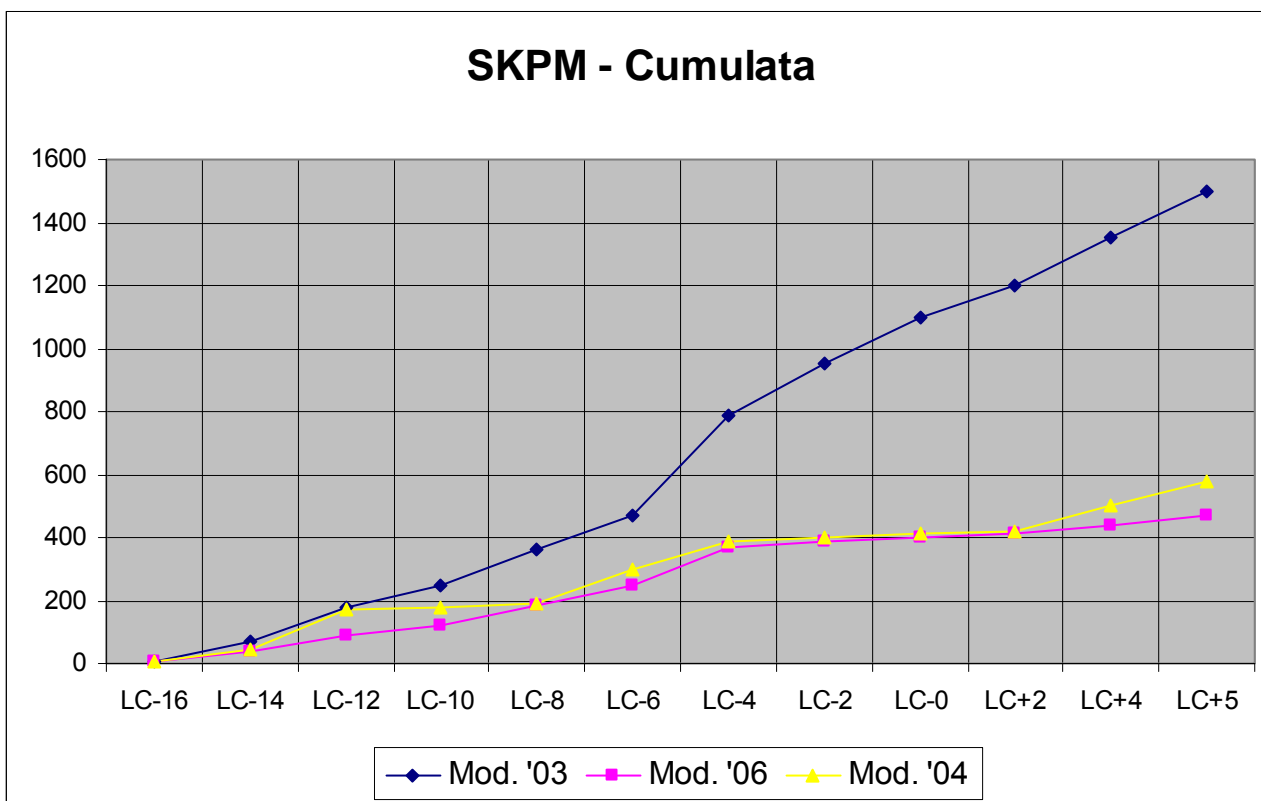
È così molto importante mantenere una traccia di tutte le anomalie che nascono strada facendo ed è altrettanto importante intervenire quanto prima per eliminarle, irrobustendo così il progetto.

Il tracciato storico delle anomalie in azienda è realizzato dalla definizione di grafici come quello seguente.



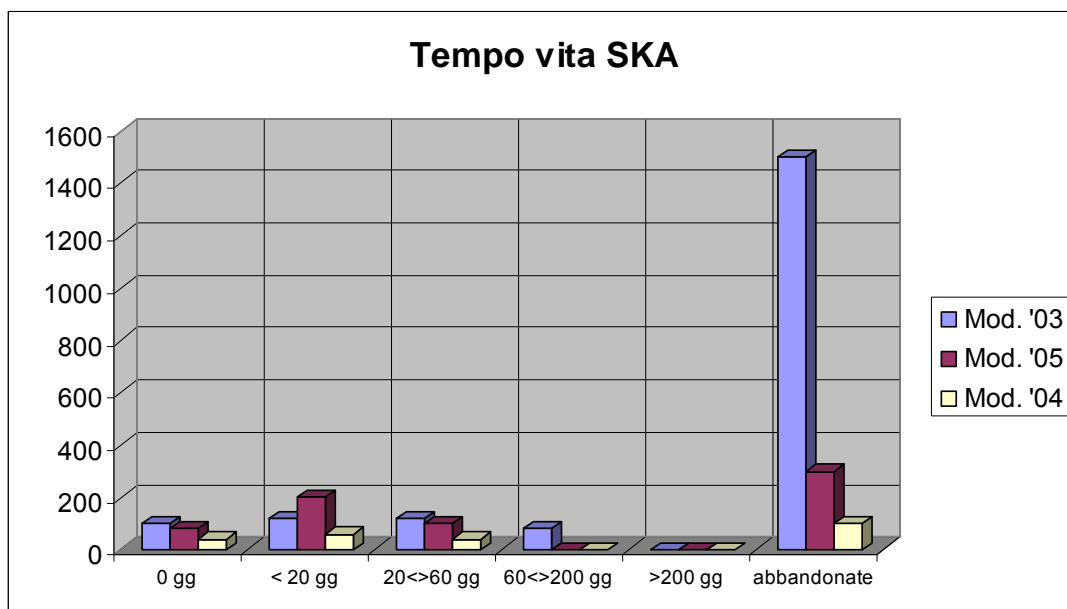
A seguito della nascita di un'anomalia, nasce quindi un'azione di intervento che si palesa concretamente con l'apertura di un'altra scheda, utile anch'essa come indicatore, ovvero la Scheda Modifica del Progetto (SKPM). Qui di seguito un paio di esempi relativi ad essa:





In cui si vedono, rispettivamente, gli andamenti puntuale e cumulato dell'apertura di Schede Modifica di Progetto. Tale andamento, soprattutto se confrontato con quello delle SKA, ci dice se la risposta dell'azienda ai problemi è buona o meno; ma ci dice anche che i problemi di progetto sono in crescita costante (su tutte e tre le vetture).

Se osserviamo poi il grafico seguente, ci rendiamo conto ancora meglio dei tempi di risposta del sistema ai problemi di progetto.



#### d) Significatività dei prototipi

E' molto importante, quando si sta per dare il via alla fase di Sperimentazione, fare alcune valutazioni sulla significatività dei prototipi, soprattutto nell'ottica di quali prove di verifica e quindi di delibera essi andranno ad affrontare.

Infatti, non tutti i prototipi a disposizione sono uguali: alcuni risultano più 'poveri' dal punto di vista tecnico rispetto ad altri, magari perché si è deciso di contenere i costi magari perché il progetto è ancora indietro con lo stato di avanzamento magari perché si è deciso di comprimere i tempi di montaggio.

Quindi, l'analisi della significatività dei prototipi ci può dare una mano a scegliere quale oggetto utilizzare per una determinata prova e quale invece no.

Su un oggetto di prova complesso, quale può essere ad esempio un prototipo di vettura, i sottocomponenti da assemblare per ottenerlo possono essere classificati nel seguente modo:

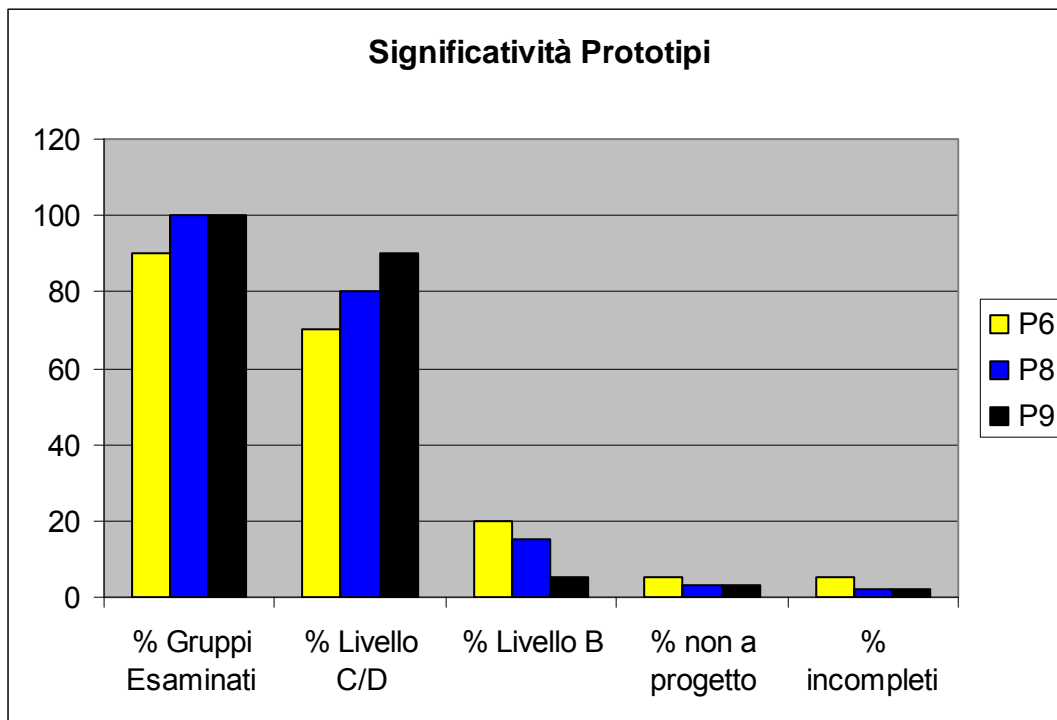
Non a progetto: bricolati

B : bassa significatività

C : media significatività

D : alta significatività

Da qui risulta semplice comprendere il significato del seguente grafico:

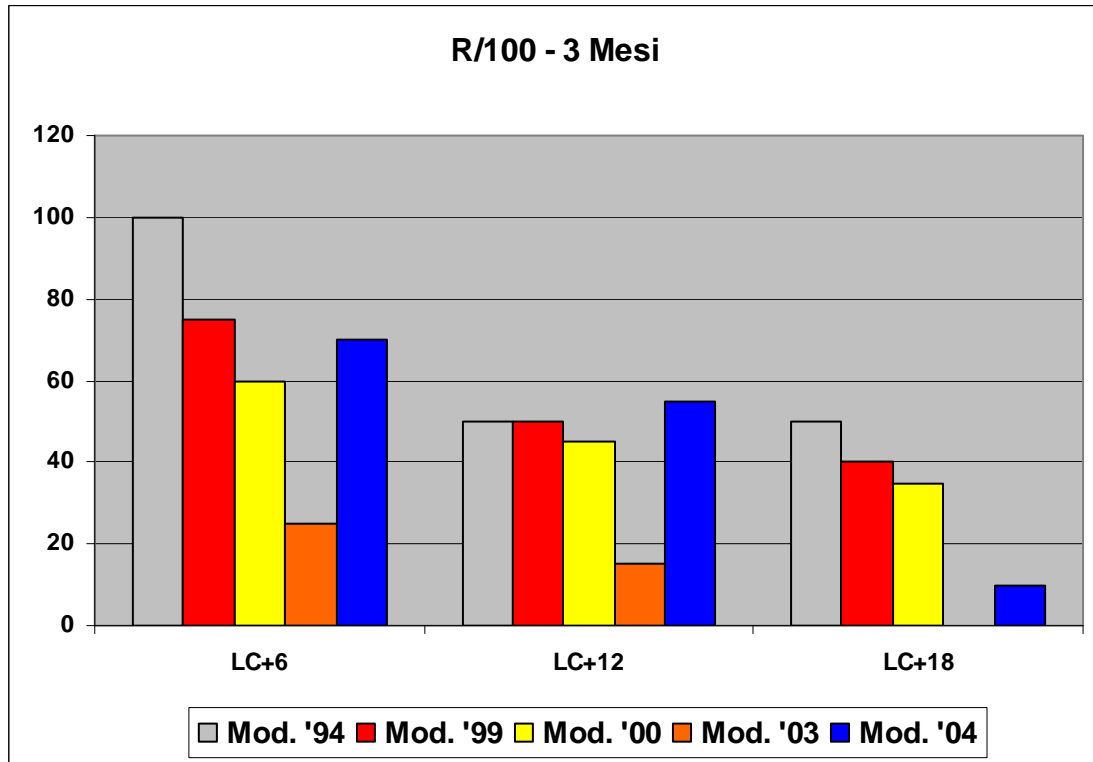




### e) R100

L'R100 è molto probabilmente l'indicatore più importante per la Direzione Qualità e per l'azienda stessa: infatti esso rappresenta l'ammontare delle segnalazioni di anomalie da parte di clienti, emerse sui prodotti già venduti.

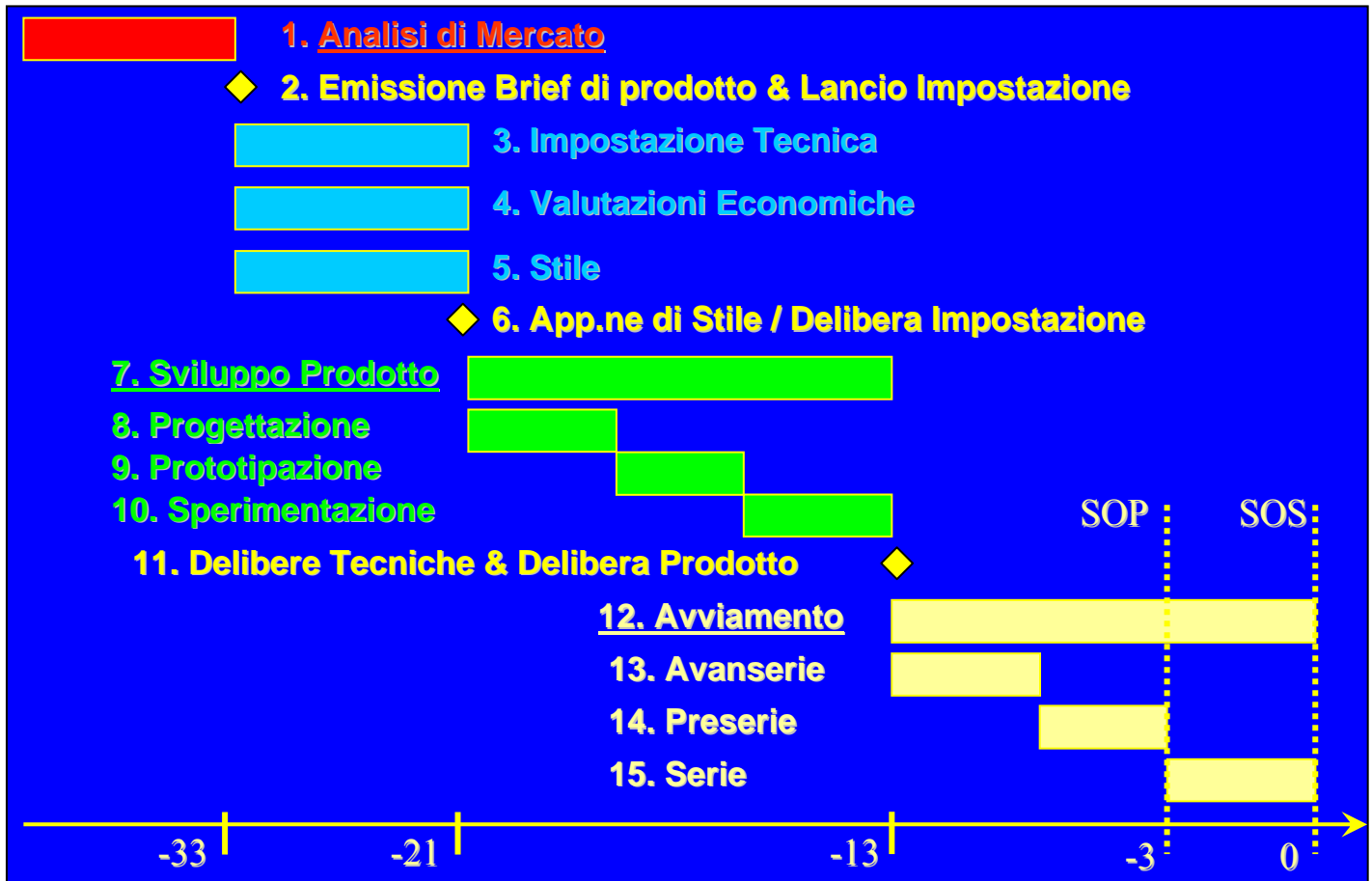
È un vero e proprio indice di bontà del prodotto dell'azienda e della relativa soddisfazione della clientela. Qui di seguito un esempio di un grafico riportante tali informazioni.



È facile immaginare che, in base a quanto in esso riportato, seguano azioni di miglioramento del prodotto più o meno importanti, che determinano anche scelte di tipo strategico da parte della Direzione.

### 4.2.7 Le Delibere

Per capire il concetto di delibera è fondamentale, come prima cosa, vedere come è strutturato un progetto-tipo nel tempo, all'interno dell'azienda.



In sostanza, nella figura qui sopra, si riporta in formato grafico gran parte di quanto si è scritto finora. Infatti, nel Gantt illustrato si possono notare **quattro macro fasi principali** di un progetto vettura, ovvero:

- 1) analisi di mercato
- 2) impostazione
- 3) sviluppo prodotto (o applicazione)
- 4) avviamento produttivo

Quindi, come prima cosa, possiamo dire che le delibere (vedi anche grafico) sono quei momenti in cui vengono scanditi i passaggi da una fase all'altra.

Si parla infatti di Delibera o Emissione di Brief, quando dalla fase di Analisi di Mercato si passa a quella di Impostazione; si parla poi di Delibera di Impostazione quando dalla fase di Impostazione si passa alla fase di Sviluppo Prodotto; si parla quindi di Delibera Tecnica e Delibera a Produrre quando dalla fase di Sviluppo Prodotto si passa alla fase di Avviamento Produttivo.

Dunque le delibere sono delle milestones, nel gergo dei pianificatori. Ma non solo.

- 1) Dal *punto di vista tecnico*, le delibere rappresentano la ratificazione dell'esito positivo di una prova eseguita su di un prototipo, od un oggetto di prova in genere.

Infatti, ogni volta che si progetta un nuovo componente, è necessario costruirne il relativo prototipo. Il prototipo serve a verificare, come già accennato sopra, la bontà del progetto, testandone la funzionalità prima e la affidabilità poi.

Queste verifiche sono dette *test di delibera* (sono veri e propri esami per il progetto).

Quindi, in ambito tecnico, possiamo definire:

- a- **delibera funzionale**: ratifica di un esito positivo di un test funzionale su prototipo
- b- **delibera affidabilistica**: ratifica di un esito positivo di un test affidabilistico su prototipo
- c- **delibera tecnica**: è la somma della delibera funzionale con la delibera affidabilistica; in sostanza, possiamo deliberare tecnicamente un progetto-prodotto, solo dopo averlo deliberato, prima, funzionalmente, poi affidabilisticamente.

2) Dal punto di vista gestionale, inoltre, le delibere rappresentano ancora delle ratifiche, ovvero dei momenti di ‘celebrazione’ degli obiettivi raggiunti, propri di una determinata fase del progetto.

Ogni fase del progetto è monitorata da degli indicatori numerici (**kpi**); rispetto ad ogni indicatore, viene fissato un obiettivo (numerico anch’esso); il raggiungimento di più obiettivi può essere raggruppato nel momento ben definito in azienda, denominato delibera. Ecco perché si può dire che la delibera segna il passaggio da una fase ad un'altra del progetto; nella fase successiva saranno predisposti altri obiettivi, monitorati da altri kpi e, così, al termine della fase in questione, vi sarà un'altra delibera.

Le delibere principali, da un punto di vista macro-gestionale di un progetto, sono:

- a- **delibera di emissione brief**: ratifica l’emissione del brief; dà il via all’impostazione
- b- **delibera di impostazione**: ratifica la fine della fase di impostazione; dà il via allo sviluppo prodotto. Durante l’impostazione, vengono attuati diversi indicatori, *kpi*, che ci consentono di controllare lo stato di avanzamento della fase e di verificare quanto ci manchi alla delibera. Alcuni di questi indicatori sono:
  - congelamento stile vettura (si/no);
  - emissione documenti di valutazione economica, quali budget, analisi degli investimenti (si/no);
  - definizione pianificazione di progetto (si/no);
  - definizione pianificazione costruzione oggetti di prova (si/no);
  - studi di architettura (% da 0-100);
  - studi di impostazione (% da 0-100);
  - obiettivi tecnici circa le masse (< di un valore concordato)
  - obiettivi tecnici circa le performance (velocità, accelerazione, coefficienti aerodinamici, ecc.)
  - definizione obiettivi di qualità (indicatori di qualità: CMU e R100);
  - ICP modello di stile ( $n^\circ <$  di un obiettivo);
  - VLO parti meccaniche ( $n^\circ <$  di un obiettivo);
  - definizione obiettivi di affidabilità (si/no);
  - definizione obiettivi di assistenza (si/no).

c- **delibera tecnica**: ratifica la fine della fase di sviluppo prodotto, durante la quale si eseguono le attività per arrivare alle delibere funzionali ed affidabilistiche.

Dal punto di vista gestionale, quando si ottengono le delibere funzionali e quando le affidabilistiche?

È opportuno ricordare che il processo di sviluppo prodotto è costituito da tre fasi ben definite, che a loro volta sono monitorate attraverso opportuni indicatori:

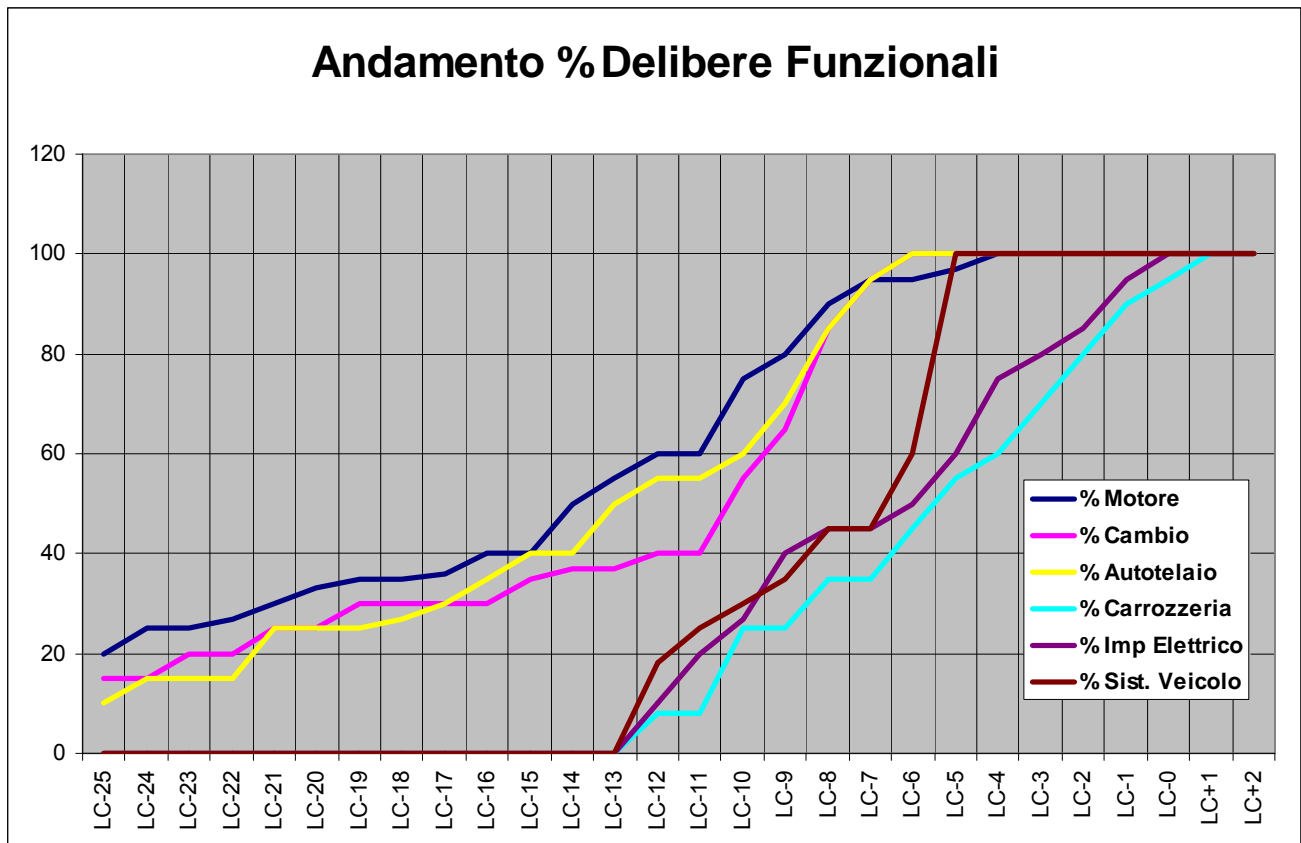
- progettazione* -> emissione schede progetto o disegni
- prototipazione* -> effettiva costruzione degli oggetti di prova/prototipi, in base alla pianificazione
- sperimentazione* -> delibere funzionali ed affidabilistiche

Dunque, le delibere funzionali ed affidabilistiche sanciscono la fine dello sviluppo prodotto, in quanto sanciscono la fine dell'ultima fase dello sviluppo prodotto, ovvero la sperimentazione.

La sperimentazione è divisa a sua volta in due fasi ben distinte:

- fase di verifiche funzionali
- fase di verifiche affidabilistiche

La prima ha lo scopo di vedere se il prototipo (e quindi il progetto) funziona; ben definito, infatti, lo scopo per cui ho progettato un determinato componente, devo vedere se lo stesso soddisfa le mie richieste. La verifica funzionale sarà anch'essa un confronto con parametri pre-definiti, esclusivamente di tipo tecnico. Con la verifica funzionale non si intende, invece, vedere se il componente, pur



funzionando, duri senza rompersi per un determinato tempo. Questo è lo scopo delle verifiche affidabilistiche.

Le verifiche affidabilistiche intendono accertare se un determinato componente, pur funzionando, sia in grado di protrarre il suo funzionamento oltre/per un tempo limite, pre-determinato. In questa fase, è importante poter usufruire di due o più oggetti di prova, in quanto è necessario avere una campionatura significativa per l'esito della prova stessa.

Per le verifiche funzionali, invece, è necessario un solo oggetto di prova, seppur significativo.

Quindi, si può affermare che al termine delle verifiche funzionali, avremo le delibere funzionali; a questo punto partiranno le verifiche affidabilistiche, al termine delle quali ci saranno le delibere affidabilistiche.

Solo quando, per lo stesso componente sono state emesse delibera funzionale e delibera affidabilistica, allora avremo la delibera tecnica (come del resto già scritto sopra).

Sopra è stato riportato un tipico andamento delle delibere funzionali durante lo sviluppo prodotto di una vettura.

**d- delibera a prodotto e delibera a produrre:** quando tutte le delibere tecniche, componente per componente, vengono emesse, allora si ha la delibera prodotto.

L'emissione della delibera prodotto e della delibera dei cicli di montaggio (emessa al termine del montaggio delle Avanserie), danno luogo alla delibera a produrre, momento in cui l'azienda dà il via alla produzione.



# ***Capitolo 5:***

## ***Confronto tra QFD e TRIZ***

## 5.1 QFD vs TRIZ: breve descrizione della differenza tra i metodi

La scelta di impostare un confronto tra i due metodi di progettazione più noti è dovuta al fatto che si è inteso, dopo una fase di applicazione di quanto conosciuto, dare il via ad una seconda fase del lavoro: quella della ricerca.

Infatti, per verificare la ‘potenza’ delle due metodologie, ma soprattutto, per far emergere nuovi spunti in termini scientifici, con il presente lavoro, si è ritenuto fondamentale ‘stressare il sistema’ (*come si suol dire in Ferrari*), impostare cioè uno stesso progetto mediante due differenti metodologie. In questo modo, si è verificato se le stesse possano essere complementari, alternative, o la prima migliore della seconda o viceversa.

Grazie alla collaborazione con l’ing. Fabio Ricci Curbastro, già laureando, si è potuto portare avanti questo lavoro di ricerca, prendendo come *oggetto di sperimentazione/progettazione* un apparato di controllo della pressione nei pneumatici dei go-kart. Ovviamente, come si sarà inteso da quanto scritto sopra, lo scopo della seguente trattazione non sarà quello di portare a termine il progetto di tale sistema (anche se di fatto esso, in gran parte, si concretizzerà), ma di mettere a confronto appunto i due metodi.

Un’ulteriore opportunità, derivante dall’uso di un doppio metodo, è quella di poterli associare a determinate fasi del lavoro, affinché le due differenti filosofie di progettazione vengano integrate reciprocamente, nella speranza dunque di raggiungere una qualità del lavoro e quindi del prodotto superiori.

Innanzitutto, occorre osservare che i due metodi presentano una sostanziale differenza: il QFD è chiaramente un metodo induttivo, in quanto mediante le sue domande e le sue matrici un progettista è in grado di approfondire gli obiettivi del suo lavoro; il TRIZ, al contrario, è un metodo deduttivo, perché attraverso i suoi principi e soluzioni tecniche *a priori*, porta a ragionare sulle potenziali criticità di un progetto e sulla relativa soluzione.

Fin da questi primi aspetti, il fatto di ottenere da essi un terzo metodo “integrato” rappresenterebbe indubbiamente un risultato molto interessante, in quanto darebbe luogo ad un metodo molto potente; si tratta quindi di valutare se l’impiego di tempo ed energie siano accettabili o meno in fatto di organizzazione, oppure trascurabili rispetto al beneficio che si può ottenere.

Cominciamo dunque a considerare le varie fasi del progetto per poi vedere come i due metodi, prima separatamente, poi insieme rispondono ad esse mediante i loro strumenti.

Identifichiamo ora in maniera indicativa alcune fasi di progettazione ed assistenza prodotti e vediamo poi come ogni metodo risponde alle problematiche:

1. *ricerca di mercato*
2. *ricerca e sviluppo (R&D)*
3. *progettazione*
4. *manufacturing*
5. *produzione*
6. *assistenza*



Ordiniamo ora le varie caratteristiche dei metodi in una tabella riassuntiva:

Fase	QFD	TRIZ	QFD & TRIZ
<b>Ricerca di mercato</b>	Strumenti di pianificazione prodotti (6 domande)	Ricerca della soluzione ideale (IFR), analisi del problema in termini fisici	Miglioramento del grado di idealità del prodotto, incontro superiore con le esigenze di mercato
<b>R&amp;D</b>	Inquadramento dei problemi	Risoluzione delle problematiche fisiche e tecniche	Raggiungere soluzioni il più complete possibili rispetto alle esigenze
	Impostazione dei parametri minimi di qualità e requisiti	Applicazione di un'ampia gamma di principi	Ottenere un'evoluzione del sistema rispetto allo stato dell'arte
<b>Design</b>	Chiarificazione del compito	Analisi funzionale mediante Su-Field	Ricerca di soluzioni raffinate ed exitements
	Impostazione dei parametri di affidabilità	Ottimizzazione dei componenti	Svolgere un'analisi dei guasti più precisa
	Sviluppo del concetto		Migliorare l'applicazione di concetti
<b>Manufacturing</b>	Analisi dei costi		Ottenere un risparmio nei costi di sviluppo
	Analisi dell'equipaggiamento	Ottimizzazione dei processi	Miglioramenti nei macchinari e nei processi
<b>Production</b>	Analisi dei processi	Applicazione dei principi ai processi e altro	Ottimizzazione della produzione
<b>After Service</b>	Analisi dei processi	Applicazione dei principi ai processi e altro	Ottimizzazione del servizio

#### Confronto metodi

Dallo schema appare evidente come il QFD rappresenti il metodo più potente ed efficace nell'analisi delle problematiche di un progetto, di un prodotto, di un processo, poiché è in grado di mettere in risalto le caratteristiche critiche, quelle che hanno problemi, oppure quelle che hanno un peso superiore e che vanno ad influenzare maggiormente il progetto.

Il TRIZ, d'altra parte, viene messo in pratica per ottenere delle soluzioni una volta stabilito l'obiettivo da raggiungere, pertanto interviene nel momento in cui si abbia da risolvere un problema, una criticità.

Integrare i due metodi significherebbe in pratica ricercare criticità e varie problematiche del progetto col QFD per poi risolverle col TRIZ, il che rappresenta poi l'obiettivo del presente lavoro.

Infatti, applicare il nuovo metodo di progettazione e raggiungere un buon livello di coordinazione tra i due strumenti, ottimizzando quelle che possono essere le incongruenze tra i due metodi ed eventualmente anche le aree di sovrapposizione sono le mete che si intende raggiungere.

Per far questo, per portare un esempio concreto del lavoro svolto, è stato messo in atto un progetto di un dispositivo reale e portato dall'inizio, dalla chiarificazione del compito fino alla realizzazione dei disegni costruttivi.

Una volta terminato il lavoro, verrà poi messa in atto una discussione del progetto intesa ad analizzare sia metodologia sia contenuti messi in essere nello stesso.

L'utilizzo di un software dedicato, infine, ha contribuito notevolmente nell'integrazione in quanto dotato della caratteristica di ricevere in ingresso i parametri di miglioramento esplicitati dal QFD e la lista di controllo della bontà di una soluzione.

### *5.1.1 Cenni sull'utilizzo del software dedicato*

In questa fase del lavoro, mentre il metodo QFD è stato applicato in modo “manuale”, cioè svolto senza l'ausilio di strumenti informatici “attivi”, il TRIZ invece è stato applicato mediante l'uso di un software dedicato, implementato per seguire i progettisti attraverso tutte le fasi specifiche del metodo.

Il TechOptimizer, così si chiama il software, infatti prevede, attraverso sette ambienti di lavoro, di far fronte allo svolgimento delle seguenti funzioni:

- 1. *Analisi funzionale di prodotto/processo***
- 2. *Ricerca delle caratteristiche salienti***
- 3. *Ricerca dei principi di soluzione***
- 4. *Stesura della specifica ottenuta corredata di tutti i parametri considerati nel lavoro.***

Ulteriore caratteristica del software è la possibilità di accedere via internet ad una banca dati di brevetti, al fine di corredare il lavoro di un'ulteriore ricerca ed approfondimento.

L'utilità maggiore dell'uso del software è, infatti, la possibilità di accedere ad una libreria di 4500 (fino a 9000 nelle versioni più recenti) concetti ed esempi divisi tra fenomeni fisici e chimici e di stimolarne l'applicazione ai casi pratici.

In questo progetto il TechOptimizer è stato sfruttato sia nella chiarificazione del compito, integrandolo coi risultati ricavati dalle matrici del QFD, poi spinto nel campo d'azione del TRIZ, dove ha svolto un lavoro di assistenza nella selezione delle problematiche più importanti e dei principi risolutivi più interessanti da mettere in pratica.

Avvalendosi invece dei dati provenienti dall'altro metodo, la funzione di “trimming”, regolazione, implementata nel programma non è stata praticamente messa in atto. Questa caratteristica è indispensabile però quando si entra nel programma con un progetto o un processo ancora poco chiaro e da ottimizzare, quindi non nel caso in esame.

## 5.2 Identificazione del tipo di progetto per il confronto QFD vs TRIZ

### 5.2.1 – Analisi dei bisogni di mercato

L'obiettivo di questo lavoro consiste nel rimediare ad una problematica tipica del mondo dei kart, riguardante gli scompensi di assetto nel corso delle sessioni di gara.



**Kart da competizione (senza motore)**

I piloti, nonostante tutte le prove ed eventuali regolazioni, lamentano gravi scompensi di assetto nel corso di una sessione di gara, problemi che imputano in maniera imprecisata alla pressione delle gomme. Secondo le interviste effettuate all'inizio del lavoro, la pressione delle gomme sale in maniera più o meno costante nel corso della gara, deformando i battistrada dunque variando continuamente l'area di contatto tra gomma e pista.



**Ruota posteriore di kart ad una pressione eccessiva**



**Profilo del battistrada di una gomma alla pressione ottimale**

Come è possibile osservare, la deformazione della carcassa è quasi nulla alle basse pressioni, mentre non appena viene superato il valore ottimale assume una forma a “botte” decisamente pronunciata.

Il rimedio più comune, messo in pratica nel corso delle gare, è quello di partire con la gomma sgonfia e aspettarne il progressivo riscaldamento, sperando che nel corso di qualche giro le condizioni di assetto del kart ritornino pari a quelle impostate.

In seguito, quando, a causa del riscaldamento le gomme superano la pressione ottimale e l’assetto cambia di nuovo, i piloti accettano di “improvvisare” il loro stile di guida per finire la gara, possibilmente senza perdere posizioni.

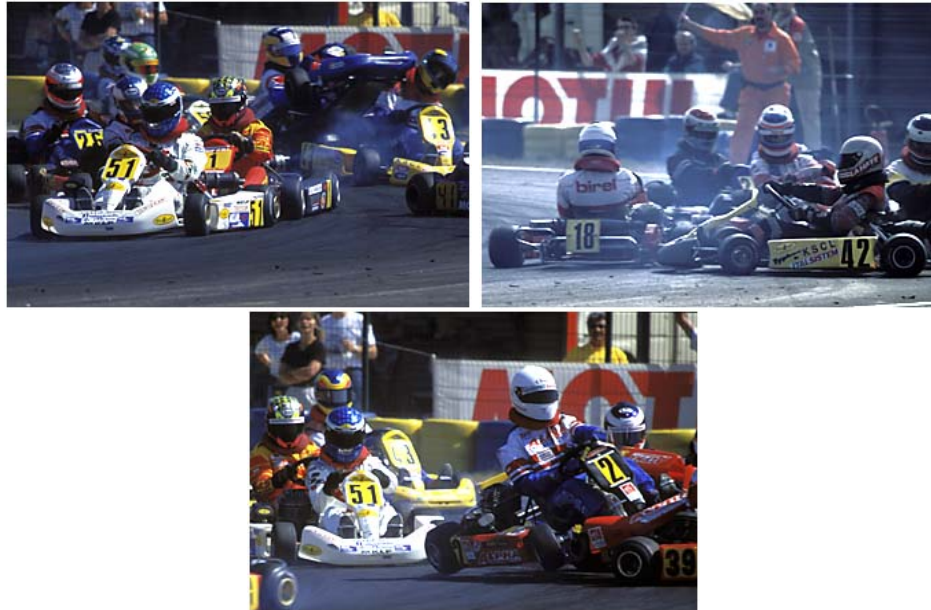


**Kart in sbandata controllata**

La richiesta che è pervenuta all’inizio del lavoro è quella che l’assetto rimanga invece costante per tutta la gara, adottando qualsiasi sistema, permesso dal regolamento, che potesse raggiungere lo scopo.

Un mezzo che sia in grado di mantenere costante le sue regolazioni diventa indubbiamente molto competitivo, in quanto consente al guidatore di ottenere sempre il massimo delle prestazioni e garantisce anche una certa affidabilità, mantenendo anche delle buone condizioni di sicurezza per il pilota stesso.

Ricordiamo che nei kart non sono previste cinture di sicurezza, roll bars, air bags o altri sistemi di sicurezza attivi o passivi e che gli incidenti sono purtroppo frequenti e qualche volta anche molto gravi, poiché i mezzi sono in grado di raggiungere velocità pari a circa 140-160 km/h e, come in tutte le corse di veicoli a “ruote scoperte” i ribaltamenti sono un tipo di incidente da non sottovalutare.

**Incidenti kart**

La prima analisi svolta è stata quella rivolta a stabilire un mezzo di intervento, tenendo ben presente le limitazioni del regolamento ed i canoni di sicurezza elementari.

Purtroppo, l'uso di "termocoperte" nel mondo dei kart non è consentito nello stesso modo in cui viene permesso in formula 1, quindi, praticamente, non è possibile riscaldare le gomme in maniera opportuna fino a pochi istanti prima della partenza, elemento che avrebbe risolto la prima parte del problema, ed è altresì accertato che non è consentito intervenire direttamente sulla mescola delle gomme o sui cerchioni a causa delle norme del regolamento della Federazione Italiana Kart.

È stato inoltre constatato che non esistono in commercio gomme "rinforzate" in grado di resistere alla deformazione progressiva, per esempio come alcuni modelli di pneumatici a doppia tela disponibili in commercio per automobili sportive.

Appare evidente che si deve concepire un dispositivo supplementare da aggiungere al veicolo, in quanto non è possibile intervenire sui componenti già presenti, intervento questo che è permesso dal regolamento. Il prodotto che si intende realizzare dovrebbe, indicativamente, mantenere costante la pressione delle gomme, parametro al quale è legata la forma esterna del battistrada.

Come primo principio di azione, per ridurre la pressione sempre crescente nei pneumatici è stato pensato ad un sistema di sfiato dell'aria in eccesso.

Sono stati studiati i paragrafi del regolamento per il campionato italiano 2006 riguardanti in particolare gomme e accessori e si è verificato una mancanza di normative in merito al mantenimento della pressione delle ruote, pertanto è possibile intervenire con un dispositivo atto allo scopo.

Prima di intraprendere poi qualunque progetto concettuale di un oggetto di questo genere, sono ovviamente state sollevate delle obiezioni, discusse direttamente coi piloti, poiché l'idea stessa di sgonfiare le ruote in corsa, per quanto in maniera precisa e controllata, resta un intervento che suscita perplessità.

Dall'analisi delle corse di kart si è verificato che un raffreddamento della carcassa rappresenta un inconveniente insolito ed altamente improbabile. Ammettendo infatti un raffreddamento improvviso di una gomma che ha già sfiato l'aria in eccesso, verrebbe a riscontrarsi una condizione gravissima poiché il pilota si troverebbe a correre con una ruota completamente descappata.

Fa eccezione a questo fatto soltanto il caso di pioggia durante una corsa, ma il regolamento prevede un pit-stop obbligatorio per il cambio gomme, quindi, i piloti con le gomme sgonfiate dal "dispositivo" potrebbero rientrare nella pit-lane molto lentamente, in condizioni di sicurezza assolute e montare in seguito gomme gonfiate alla pressione adeguata.



**Battistrada di una gomma da bagnato**

Stabilito a priori che ha senso ed è possibile intervenire in questa direzione, cioè proprio quella di sgonfiare le gomme in corsa, è stato condotto uno studio riguardante i bisogni del mercato ed in particolare degli utenti di un prodotto di questo genere.

#### *5.2.1.1 – I bisogni del mercato, i bisogni attesi*

Il progetto in questione, che come prima fase di lavoro ha analizzato le richieste degli utenti potenziali di questo genere di dispositivo, ha evidenziato le relative necessità primarie al fine di tradurle nei veri fulcri del problema. Il cliente del prodotto in questione desidera vincere le corse ed avvantaggiarsi rispetto agli avversari riuscendo a mantenere costante l'assetto del suo kart per tutto il corso della gara.

#### *5.2.1.2 – I bisogni del mercato, i bisogni espressi*

I piloti, che come abbiamo visto nel punto precedente, desiderano correre con un assetto costante del kart, non vogliono perdere tempo nel riscaldamento delle gomme nei primi giri di gara e non vogliono essere costretti nel finale a vere e proprie “acrobazie” per mantenere in pista il mezzo.



**Kart in gara**

Il team che segue un kart desidera poter seguire le indicazioni del pilota in maniera precisa, non vuole perdere tempo, non vuole trovarsi costretto a complicare la prassi di attività di preparazione di un mezzo per la gara e vuole un oggetto sicuro ed affidabile. Il prezzo è un fattore che passa in secondo o anche terzo piano, specialmente a livello di campionati nazionali, quindi l'utenza è disposta a spendere denaro pur di assicurarsi un vantaggio concreto.

Inoltre, in un futuro, se questo genere di esperienza ha successo, potrebbe essere pensabile rivolgere questa offerta anche a categorie diverse di utenti, come motociclisti oppure estendere il concetto anche a mezzi prodotti in serie.

#### *5.2.1.3 – I bisogni del mercato, i bisogni inespressi*

Anche se non lo esprimono direttamente, tutti i piloti desiderano la massima sicurezza ed affidabilità dal prodotto, in quanto utilizzeranno il dispositivo in un momento molto delicato quale la gara, dove tutta la loro abilità è rivolta alla guida e non possono spendere concentrazione con le problematiche tecniche del

mezzo. Pretendono inoltre, in maniera sottointesa, che la durata del oggetto sia come minimo quella di una gara.

Contemporaneamente, rivolgono bisogni inespressi anche tutti coloro che potrebbero avvantaggiarsi dei benefici del prodotto ma non ne sono consapevoli, come appunto automobilisti, corridori di altre categorie ecc...

Come detto precedentemente, il prodotto indirettamente può essere rivolto anche a costoro.

#### *5.2.1.4 – I bisogni del mercato, i bisogni “eccitanti”*

In questo caso il prodotto entra in una nicchia di mercato “vergine”, in quanto non esistono altri prodotti dalle funzionalità analoghe. Non si ritiene pertanto una primaria necessità quella di conferire all’oggetto caratteristiche stimolanti per catturare l’attenzione o suscitare curiosità negli addetti ai lavori. Questo discorso è ovviamente estraneo a qualunque campagna pubblicitaria che verrà indetta, cioè nel prodotto non verranno presi in considerazione particolari detti “excitements”, a prescindere da qualunque idea possa venire al marketing per vendere il prodotto.

#### *5.2.1.5 – Sintesi dei risultati*

Volendo riassumere tutta la serie di considerazioni fatte nei punti precedenti di analisi appare evidente che il prodotto, qualunque esso sia, dovrà rispondere a questi requisiti:

- ***efficienza***
- ***sicurezza***
- ***affidabilità***
- ***semplicità di uso e manutenzione***
- ***dimensioni e peso ridotti***

Nel momento in cui il progetto intraprenderà strade contrarie a queste norme basilari, allora verrà bloccato il lavoro e rivisto fino a risalire alle problematiche che impediscono uno sviluppo in accordo alle richieste del cliente.

Ulteriori analisi del mercato sono risultate inutili, poiché l’ambiente delle corse, per quanto complesso possa apparire, viene mosso da una semplice ed unica legge: correre più velocemente degli altri.

Per questo, qualunque cosa che permetta questo risultato e permessa dal regolamento viene accettata di buon grado dalla totalità delle utenze, come ad esempio il motore “lamellare”. Al contrario, qualunque cosa che ostacoli il raggiungimento dell’obiettivo viene respinta ed ignorata.

Compreso questo punto e chiarito con cura l’ambito in cui il lavoro dovrà muoversi, viene lasciato spazio al progetto concettuale del componente stesso, al fine di identificare principi di funzionamento, tecnologie di produzione ecc.



### 5.2.2 – Documentare l'ambiente dove il prodotto viene usato (6 domande QFD)

Nel corso dell'analisi svolta nei paragrafi precedenti, è stato praticamente analizzato sia l'ambiente di destinazione del prodotto, sia tutto l'insieme di possibilità correlate alla vendita, ai bisogni della clientela, alla costruzione vera e propria ed alle problematiche legate ad ognuno di questi aspetti.

Nel processo di applicazione del metodo di progettazione ottenuto combinando sia il QFD sia il TRIZ, emerge in ogni caso il bisogno di effettuare una chiarificazione del compito approfondita.

Il metodo QFD è quello che fornisce gli strumenti più efficaci in questa fase poiché stimola i progettisti o il gruppo di lavoro a pensare ad una gamma di aspetti il più ampia possibile.

Passiamo dunque a rispondere alle 6 domande previste da questo metodo di lavoro:

- 1) **Chi? – Chi usa il prodotto?**
- 2) **Cosa? – Qual è l'uso?**
- 3) **Dove? – Dove è usato?**
- 4) **Quando? – Quando viene usato?**
- 5) **Perché? – Perché viene usato?**
- 6) **Come? – Come viene usato?**

#### 5.2.2.1 – Chi usa il prodotto?

Il prodotto viene usato in **via indiretta dai piloti kart**, indiretta nel senso che loro guidano il mezzo dove vengono montate le valvole, tuttavia non ne hanno un controllo diretto come può essere del motore, del volante o del cambio. Ne deriva da qui la necessità di un funzionamento automatico, in quanto non è possibile inserire tra gli strumenti a bordo un lettore di pressione delle ruote ed un comando di sfiato.

Il prodotto viene utilizzato in **via diretta dai meccanici** dei team di gara, impegnati nella messa a punto dei mezzi. Utilizzato in via diretta nel senso che sono le persone che monteranno effettivamente le valvole sulle ruote e che decideranno la pressione di soglia.

Come già accennato, per questi utenti la semplicità d'uso è indispensabile, vengono pertanto rivolte a loro beneficio tutte le considerazioni che verranno svolte nel corso del lavoro. Un'alternativa più interessante dal punto di vista della "semplicità d'uso" potrebbe essere quella di produrre una gamma di valvole già tarate ad una determinata pressione.

Con quest'ultima alternativa, verrebbero riscontrati dei vantaggi notevoli non solo in semplicità ma anche in precisione e resistenza costruttiva.

#### 5.2.2.2 – Qual è l'uso?

La valvola viene montata affinché sfiati l'aria in eccesso nella gomma al raggiungimento di una soglia di pressione. Questo sfiato consentirà al pneumatico di evitare deformazioni del battistrada e mantenere di conseguenza un buon contatto con l'asfalto della pista.

È evidente che l'uso del prodotto è quello di aprirsi al raggiungimento di una determinata condizione e richiudersi automaticamente una volta ripristinata la pressione impostata. È anche importante che la valvola resti insensibile ai picchi di pressione dovuti agli urti delle gomme con cordoli ed altre asperità.

### 5.2.2.3 – Dove è usato?

Il dispositivo viene usato sui kart, ma viene montato nei “paddock” delle piste di kart, in pratica un piazzale dove i team in gara allestiscono delle officine mobili. Raramente questi posti sono dotati di ampi banchi di lavoro quindi le dimensioni e peso ridotti nonché la maneggevolezza dei prodotti è molto importante.

Poiché proprio l’ambiente di lavoro viene “improvvisato” settimana dopo settimana, aumenta il peso della necessità di una semplicità d’uso del prodotto ed anche quello di fornire agli utenti una taratura impostata con precisione a priori.

Indubbiamente, gli utenti di questo prodotto preferiscono e sono in grado di acquistare un’ampia gamma di valvole differenziate dalla semplice pressione di taratura invece di un’apparecchiatura destinata allo scopo.

### 5.2.2.4 - Quando viene usato?

La valvola viene usata principalmente durante le competizioni, in un ambiente critico e decisamente ostile, è pertanto opportuno che la valvola sia molto solida e capace di resistere anche ad urti e temperature elevate senza deformarsi, aprirsi o in ogni caso compromettere il suo funzionamento.

Fortunatamente, le gare di kart non si protraggono per un tempo elevato, tuttavia le necessità di sicurezza e di affidabilità non possono passare in secondo piano.

### 5.2.2.5 - Perché viene usato?

La valvola viene usata per prevalere nelle competizioni. Il controllo della deformazione del battistrada consentirà una notevole stabilità del mezzo e permetterà ai piloti di raggiungere prestazioni superiori sul tempo di ogni giro. Il raggiungimento di questo obiettivo renderà il prodotto estremamente invitante per tutti gli utenti e non essendo presente nessun genere di concorrenza, non sarà necessaria un’eccessiva campagna pubblicitaria o l’introduzione di caratteristiche stimolanti per i potenziali acquirenti.

### 5.2.2.6 – Come è usato?

La valvola verrà montata sulla ruota al posto del semplice cappuccio di sicurezza. Dovrà ovviamente presentare un attacco filettato del medesimo diametro e passo, nonché di una zigrinatura nel perimetro esterno per facilitare la presa con le dita e dunque il serraggio. Nel caso in cui dovesse essere realizzata una versione tarabile manualmente, è bene che sia dotata di un apposito tappo anch’esso zigrinato al fine di permettere l’impostazione manuale senza l’uso di chiavi o altri utensili.

### 5.2.2.7 – Conclusioni

Dall’analisi di questi aspetti, sono emersi i seguenti requisiti, caratteristiche di cui il prodotto dovrà essere dotato per svolgere in modo efficiente il suo lavoro ed incontrare le necessità degli utenti.

- 1) FUNZIONALITA’**
- 2) SEMPLICITA’ D’USO**
- 3) RESISTENZA ALLE CONDIZIONI OSTILI**
- 4) MANEGGEVOLEZZA**
- 5) ERGONOMIA**
- 6) SICUREZZA**
- 7) AFFIDABILITA’**

Tutti questi parametri verranno inseriti sia nelle matrici specifiche delle fasi successive del metodo QFD, sia nel software TechOptimizer, in modo tale da sposare i due metodi di valutazione delle caratteristiche del problema.

## 5.3 Chiarificazione del compito – L'utilità del QFD

### 5.3.1 Analisi del settore

#### 5.3.1.1 Analisi dei principi fisici di funzionamento

Cominciamo a considerare i parametri fisici che regolano il problema. Come già detto il prodotto in fase di progetto è rivolto a mantenere un kart in condizioni di assetto costante durante tutta la gara e mantenerle poi in modo automatico senza interventi da parte dei piloti o dei meccanici.

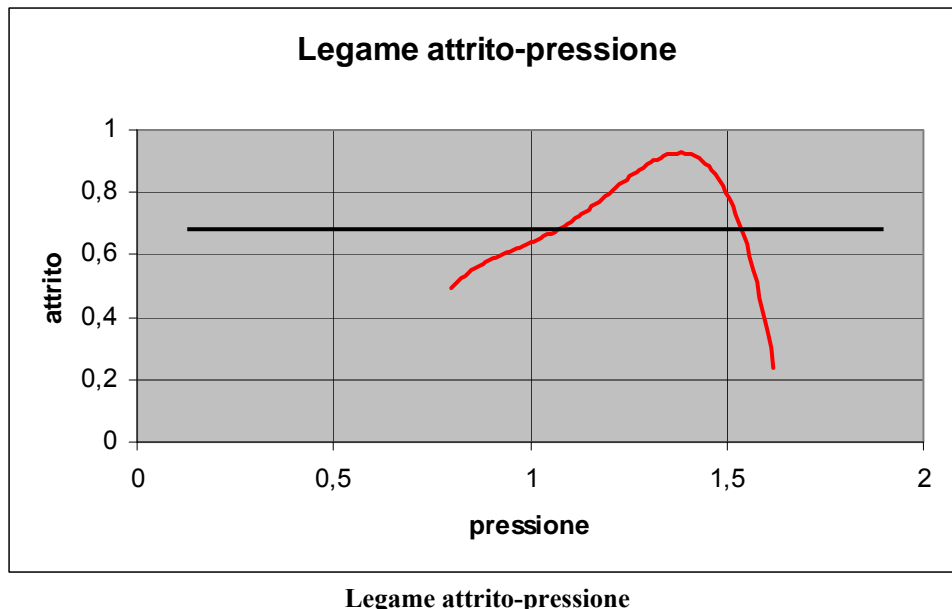
I parametri fisici che entrano in questo progetto sono la pressione delle gomme, la temperatura e l'attrito del battistrada. In ultimo, ovviamente, bisogna considerare anche il tempo, di cui tutti gli altri parametri sono funzione. Tutti questi aspetti sono legati tra loro da rapporti di interdipendenza, secondo un semplice meccanismo.

Le gomme, secondo la prescrizione del costruttore, vengono gonfiate all'inizio della gara ad una pressione di circa **0,9 bar**, pertanto, a tempo zero, il battistrada ha il contatto con l'asfalto ridotto al 50% a causa della deformazione della carcassa in condizioni di pneumatico sgonfio. La sua temperatura è poi pari a quella ambiente, all'incirca **20°C**, **30°C** invece nel caso in cui si corra nei mesi estivi.

Con l'inizio della gara l'attrito, seppur ridotto, causa un aumento della temperatura dunque anche un incremento di pressione. Altro effetto collegato a questo fenomeno è poi la deformazione positiva della gomma, che migliora le condizioni di attrito del battistrada, fino a raggiungere progressivamente il valore ottimale.

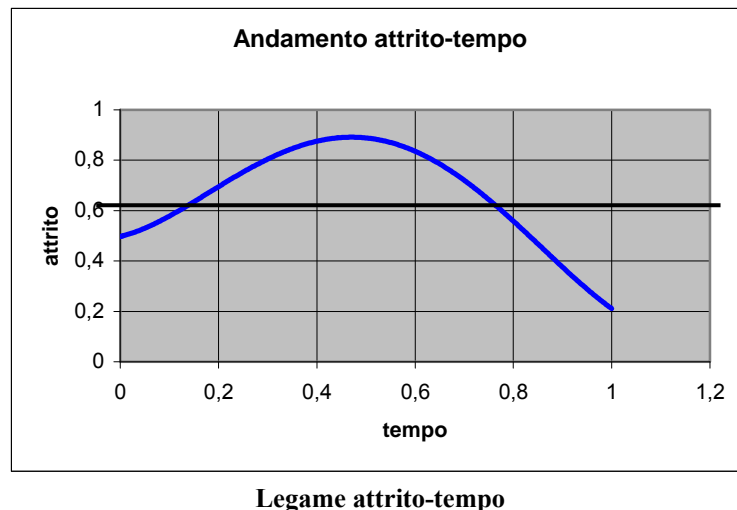
Esisterà indubbiamente un intervallo di tempo in cui temperatura, pressione e attrito acquisiscono valori accettabili ed il kart procede in buone condizioni di assetto. Una volta esaurito questo intervallo, il mezzo manifesterà altri comportamenti indesiderati, generati da uno squilibrio di questi parametri e dal deterioramento della gomma. Vediamo dunque di identificare tutto questo attraverso alcuni grafici.

Il primo consiste in una stima del legame tra attrito e pressione. Per attrito si intende in particolare la percentuale di contatto tra gomma e battistrada.



Stabilendo una soglia di attrito che rappresenta le condizioni più favorevoli, è possibile dedurre l'intervallo di pressione relativo, da **1,1 bar** a **1,6 bar** circa.

Osserviamo ora il l'andamento dell'attrito in funzione del tempo:

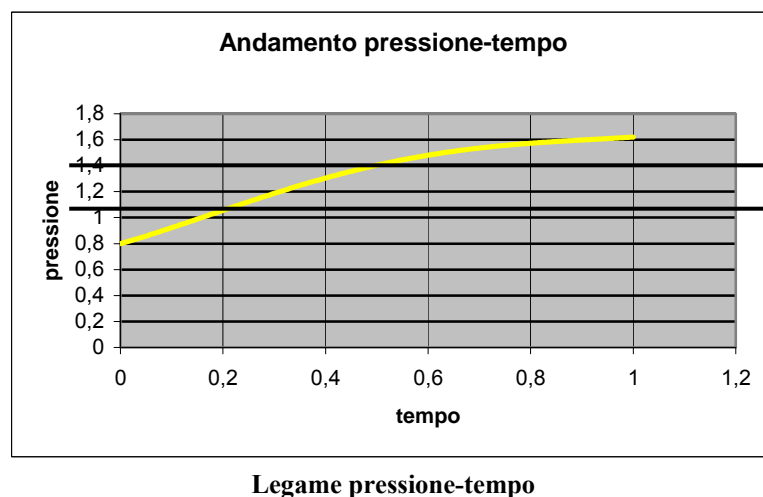


Riportiamo anche in questo caso la “soglia”, cioè il limite inferiore di attrito ed osserviamo che il kart viaggia in buone condizioni per quasi tutto l’intervallo di tempo, ad esclusione dei primi e degli ultimi giri. In corrispondenza del finale della gara il valore di contatto crolla, a causa del fatto che la gomma è completamente usurata. Il valore indicato però è approssimato, poiché molto variabile in funzione del tipo e della “bontà” della miscela.

Da quanto visto è evidente che la ruota avrà sempre un buon contatto col terreno, contatto che però mantiene la temperatura in aumento ed accelera il deterioramento del battistrada.

È ragionevole dunque pensare che la temperatura della gomma avrà un aumento progressivo ed asintotico, proprio come quello della pressione in funzione del tempo.

Consideriamo infine questo andamento:



Tenendo conto dello stesso intervallo corrispondente alle buone condizioni di attrito, vediamo che il kart percorre solo i giri intorno a metà gara con la pressione delle gomme adeguata, quella a cui corrisponde una forma esterna della gomma tale da consentire un buon contatto tra pista e battistrada.

Nonostante la gomma faccia presa sul terreno, la carcassa non conferisce la necessaria rigidità al mezzo che, di conseguenza, non risponde in maniera precisa ai comandi del pilota.

Dall’osservazione in parallelo dei grafici si evince immediatamente che l’attrito dei pneumatici è praticamente sempre accettabile ed è **invece la pressione in sé che è la causa dei problemi lamentati dai piloti.**

Si può concludere che nei primi tratti di gara la gomma sgonfia rende il mezzo più “pigro” nelle impostazioni delle traiettorie delle curve, sottosterza, perché la carcassa si deforma lateralmente specialmente nelle ruote anteriori, mentre, viceversa, nel finale di gara, quando la gomma già consumata si deforma sotto la pressione elevata ed assume una forma “ovoidale” il mezzo risponde al pilota con decisi sbandamenti e “sovrasterzi”, comportamenti aggravati dal passo estremamente ridotto del veicolo.

Inquadrato il problema secondo questi parametri, appare evidente come sia indispensabile lavorare proprio sulla regolazione della pressione, invece che sulla mescola delle gomme, che ha già prestazioni molto buone.

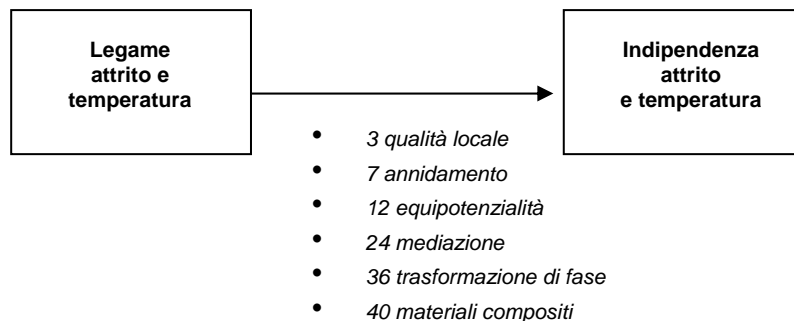
L'intervento che si può pensare di mettere in pratica sarà rivolto dunque a **mantenere la pressione variabile entro l'intervallo 1,3-1,6 bar**, dunque permettere ai piloti di **partire con gomme già ben gonfie e fare in modo che l'aumento di temperatura e di attrito non influenzino la forma della ruota**. Attraverso il metodo TRIZ, identifichiamo quali sono le problematiche fisiche del problema:

- 1. l'attrito delle gomme provoca un aumento di temperatura*
- 2. la temperatura in aumento influenza la pressione*
- 3. la pressione insufficiente o eccessiva rovinano l'assetto.*

Consideriamo ora i tutti i principi di intervento per risolvere queste problematiche, riprendendo anche quello che già era stato anticipato nei capitoli precedenti, poiché le norme specifiche del regolamento in fatto di gomme sono state studiate fin dall'inizio. Il discorso viene ripetuto per validare l'approccio del metodo al problema.

I principi del TRIZ, per definizione, sono tali da non introdurre nuove criticità quando vengono applicati. Le problematiche esposte rappresentano una concatenazione di cause ed effetti, spezzare in qualunque punto questo legame porterebbe alla risoluzione del problema.

Vediamo:



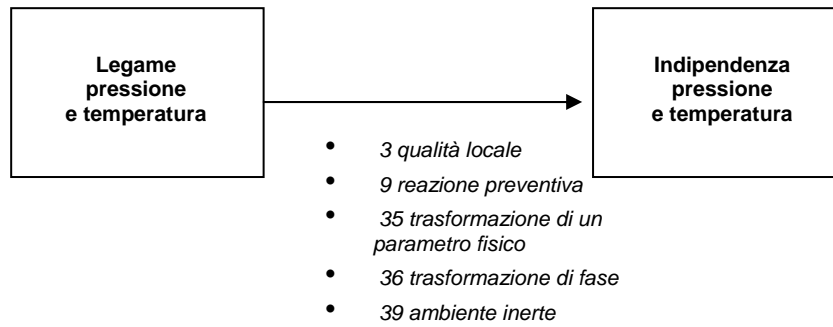
**Schema – Analisi fisica**

Con questi principi il TRIZ suggerisce di rompere il legame tra attrito e temperatura cambiando le condizioni del loro legame (3 e 12), introducendo ad esempio un “elemento intermedio” (7 e 24) che converta o assorba il calore dell’attrito (36), magari considerando l’uso di materiali compositi (40).

La tecnologia attuale permette di costruire delle gomme con mescole chimiche speciali oppure con uno strato intermedio, tra battistrada e camera d’aria, di un materiale tale che funga da scudo termico.

Questa strada di intervento non rappresenta una strategia percorribile a causa del regolamento delle corse, che impedisce qualsiasi modifica alle gomme sia nella forma sia nella loro mescola.

Passiamo alla seconda criticità fisica:

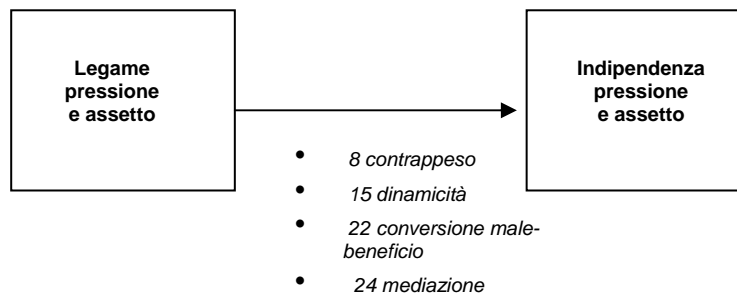


Schema – Analisi fisica

In questo caso il problema è puramente fisico, poiché andrebbe ricercato un nuovo materiale, un tipo di gas, tale per cui non valga la legge  $pV = nRT$  ed usarlo per gonfiare le gomme. Questa soluzione, non esplicitamente vietata dal regolamento, esce dalle competenze della meccanica e rappresenta indubbiamente una strategia dal fortissimo impegno economico, del tutto ingiustificato dalla problematica da risolvere. Il requisito della semplicità, espresso in precedenza è vincolante ed inderogabile.

Questa soluzione rappresenta tuttavia una “forza” del metodo, poiché in prima analisi quella di usare un gas alternativo non era stata presa seriamente in considerazione.

Terza criticità:



Schema – Analisi fisica

Nel terzo ed ultimo caso il TRIZ suggerisce di slegare la dipendenza tra pressione delle gomme ed assetto del mezzo cercando qualche sistema intermedio che “recuperi” gli inconvenienti (8 e 24), magari in grado di adattarsi alla condizione (15) e che porti in sé altri benefici (22).

Una strada potrebbe essere quella di costruire un telaio “auto-adattativo” o delle gomme indeformabili oppure ancora montare le sospensioni.

Purtroppo tutto questo è vietato dal regolamento, dove sono indicate con precisione tutte le caratteristiche di telai, sospensioni ecc...



Particolare telaio kart

Riprendiamo le considerazioni precedentemente svolte ordinate nella seguente matrice:

	<b>Indipendenza attrito e temperatura</b>	<b>Indipendenza pressione e temperatura</b>	<b>Indipendenza pressione e assetto</b>
<b>Legame attrito e temperatura</b>	3, 7, 12, 24, 36, 40		
<b>Legame pressione e temperatura</b>		3, 9, 35, 36, 39	
<b>Legame pressione e assetto</b>			8, 15, 22, 24

Tabella– Riassunto principi utilizzabili

La presente non è una matrice delle criticità come indicato da Altshuller mentre è semplicemente un riepilogo, in quanto non sussistono relazioni incrociate tra le varie problematiche fisiche.

In conclusione, è evidente che la soluzione del problema per via fisica è bloccata non tanto dalla tecnologia attuale quanto dal regolamento, pertanto, bisognerà ricercare alternative di intervento per via tecnica. Indubbiamente, se fosse stato possibile intervenire in queste direzioni, si sarebbe ottenuto un prodotto dal grado di idealità decisamente superiore alla condizione attuale, soluzione che poi non avrebbe introdotto altre problematiche, proprio come prescritto dal metodo.

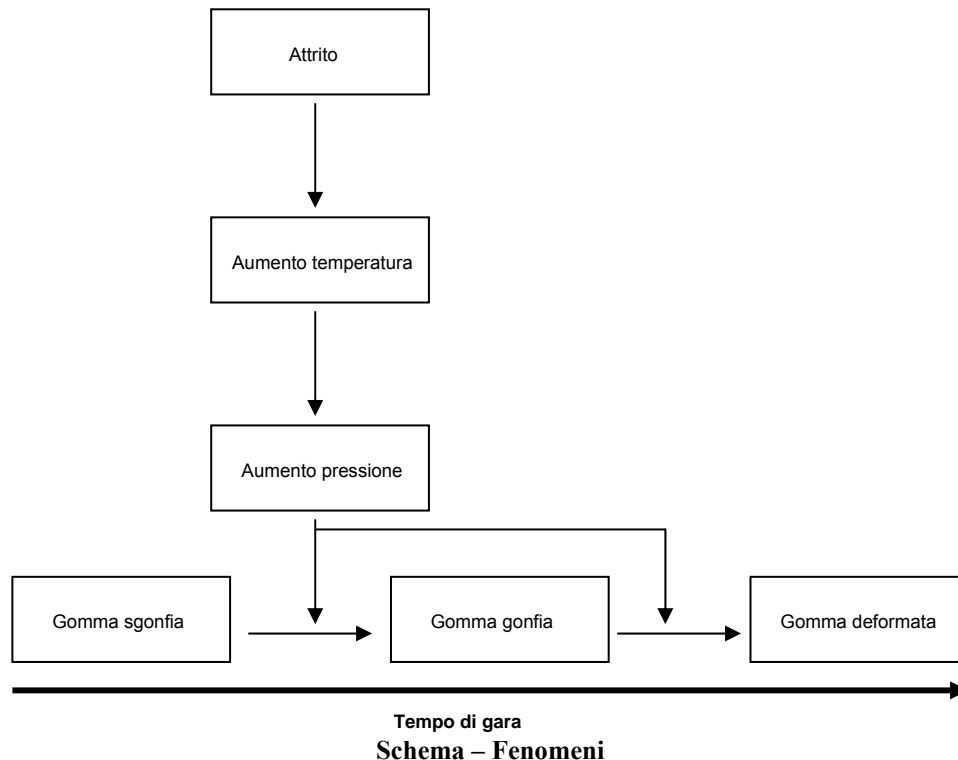
L'evoluzione, in questo caso, sarebbe rientrata nel secondo criterio di evoluzione del sistema, “inglobare più funzioni nello stesso organo”, poiché sarebbe stato costruito un nuovo tipo di ruota, termo-schermata oppure gonfiata con gas speciali, ma che comunque avrebbe rinchiuso in sé anche la funzione di resistenza termica.

### 5.3.1.2 – Analisi delle problematiche di utilizzo e funzionamento

Nel paragrafo precedente è emerso come i parametri fisici siano collegati nella deformazione della carcassa e come non sia possibile agire su di essi per raggiungere una eventuale soluzione. Indubbiamente, la costruzione di ruote con gomme speciali oppure il gonfiaggio delle stesse con gas insensibili all'aumento di temperatura avrebbe costituito una soluzione decisamente più innovativa e preferibile, in quanto avrebbe certamente incrementato notevolmente il grado di idealità della soluzione del problema.

Purtroppo, per motivi regolamentari e per motivi economici, questo genere di soluzioni sono precluse, dunque diventa indispensabile intervenire per via tecnica.

Consideriamo il seguente schema, riassunto della catena di fenomeni che concorrono nella perdita di assetto dei kart:



Bisogna considerare innanzitutto che nel corso della gara il flusso verticale agisce in maniera continua, facendo passare il sistema “gomma” dallo stato di pressione insufficiente ad uno di pressione eccessiva.

Intervenire in questo schema attraverso una soluzione, significa spezzare i legami che fanno passare la gomma da sgonfia a deformata eliminando definitivamente questi due stati, inseguito verrà annullato l'effetto negativo del flusso verticale.

Eliminare lo stato “gomma sgonfia” è senza dubbio l'intervento più semplice, la gomma deve essere gonfiata ad una pressione adeguata fin dal tempo zero. Questo consente alle carcasse di assumere subito quell'elasticità necessaria alla buona impostazione delle curve e delle traiettorie.

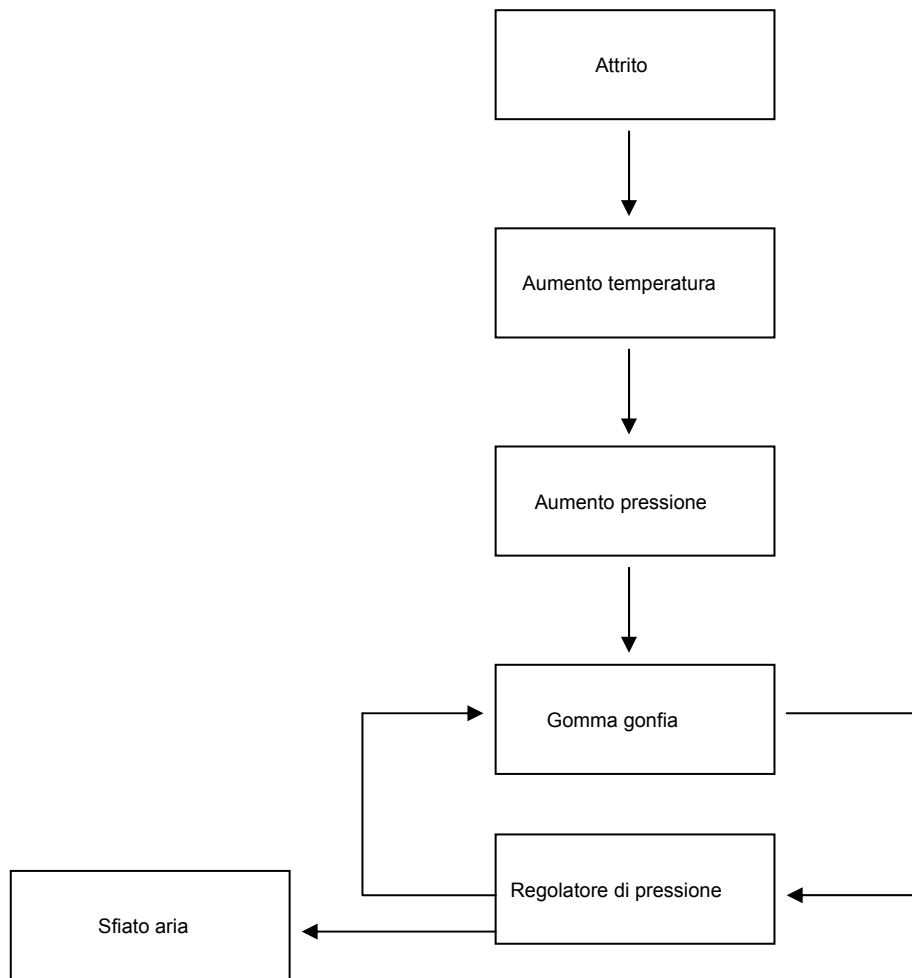
A questo punto si tratta di eliminare anche il restante stato di “gomma deformata”. Come già detto, non è possibile spezzare la catena fisica del flusso verticale, pertanto occorre studiare una strategia tecnica adeguata a limitare le conseguenze negative dell'aumento della pressione.

Per effettuare questa operazione occorre introdurre all'interno del sistema un nuovo componente in grado di controllare la pressione del pneumatico e regolarla. Poiché sappiamo che la pressione aumenta costantemente, la regolazione potrà essere progettata con un principio di unidirezionale di riduzione.

In pratica, se la gomma si gonfia, il dispositivo di controllo interverrà per espellere l'aria in eccesso.

Vediamo:





Schema – Sistema da realizzare

Innanzitutto, il primo problema che si deve risolvere è il principio di azione con il quale si intende limitare la deformazione della carcassa della ruota. Visionato con cura regolamento e normative varie, appare evidente che è impossibile lavorare sulla mescola della gomma, sulla costruzione della carcassa stessa o sul cerchione, dotandolo ad esempio di qualche sorta di telaio, in quanto tutti questi componenti sono accuratamente specificati nelle disposizioni della federazione e vengono venduti ai team in gara già in condizioni tali da essere montati ed usati così come sono. È palese dunque che l'unico parametro su cui intervenire resti la **pressione** di gonfiaggio della ruota, che è la principale causa di deformazione. Appare altrettanto evidente che in corrispondenza di un aumento della pressione, il nostro dispositivo dovrà rispondere con un'operazione di sgonfiaggio, automatica ed in corsa.

In seguito, il secondo problema da risolvere è l'applicazione del prodotto alla ruota. Per regolamento e per comodità, cioè per soddisfare il requisito di semplicità espresso chiaramente nel paragrafo precedente, appare chiaro che non si può intervenire su nulla al di fuori della **valvola di gonfiaggio**.



**Particolare della valvola di gonfiaggio**



**Particolare della valvola**

Questo mezzo, comune a tutti i cerchi, ovviamente, è completamente standardizzato per qualunque tipo di ruota, rappresenta l'unico tramite attraverso al quale si può intervenire per risolvere il problema. Come già detto tuttavia è completamente sconsigliabile qualunque soluzione che preveda la modifica di questa valvola, pertanto l'unica alternativa rimasta è quella dell'applicazione su di essa del dispositivo stesso, invitandolo al posto del cappuccio di protezione.

Questa soluzione appare estremamente vantaggiosa dal punto di vista della semplicità, in quanto i meccanici dei kart possono velocemente gonfiare le gomme ad una pressione desiderata ed applicare senza nessuna perdita di tempo il dispositivo in esame al posto del normalissimo tappino.

Da questa soluzione di intervento sorgono però alcune problematiche. Innanzitutto quella riguardante le dimensioni esterne dell'oggetto. Dovendo applicarsi alla valvola questo dispositivo dovrà per forza essere estremamente piccolo e compatto e non dovrà sporgere all'esterno della ruota, nel caso in cui il principio di soluzione preveda uno sviluppo in direzione assiale.

Terzo problema riguarda la sicurezza. È noto che tutte le valvole hanno inserito uno spillo di sicurezza che funziona attraverso il principio di autorinforzo. Questo sistema impedisce la fuoriuscita dell'aria dalla gomma, permettendone dunque solo il gonfiaggio. Per far funzionare il dispositivo in progettazione questo sistema di sicurezza andrà aggirato in qualche modo e sostituito con un altro sistema di sicurezza, altrettanto efficace, in modo da non mettere in pericolo i piloti.



**Particolare valvola**

Altro problema che si presenta sempre dovuto alle dimensioni ridotte dell'applicazione riguarda il principio di funzionamento ed eventualmente dell'amplificazione della forza. La valvola di massima pressione in esame dovrà essere sensibile a variazioni di pressione pari a frazioni di bar, dunque sarebbe bene riuscire a trovare qualche sistema che amplifichi queste piccole variazioni, al fine di costruire un oggetto molto più preciso ed affidabile.

Veniamo a considerare ora le problematiche che derivano direttamente dall'ambiente di lavoro dell'oggetto, in particolare si intende focalizzare l'attenzione su un problema molto serio che si manifesta soprattutto in gara o comunque nelle sessioni più intense di corsa: la presenza di picchi di pressione.

Dall'indagine preliminare dell'ambiente delle corse kart è apparso che il valore della pressione delle ruote presenta dei picchi altissimi in corrispondenza dell'impatto coi cordoli della pista e dell'impatto con gli avversari. È usanza comune a tutti i piloti agonistici raggiungere il punto di corda di una curva alla massima velocità possibile e saltare letteralmente sul cordolo. L'urto con la gomma, l'eventuale rimbalzo e quant'altro portano ad un picco di pressione all'interno della gomma. Picco poi particolarmente evidente nelle ruote anteriori. Un dispositivo che sfrutti semplicemente la pressione della ruota come principio di azione non è dunque accettabile, poiché provocherebbe uno sgonfiaggio del pneumatico, mentre dovrebbe ignorare o comunque essere insensibile a tali fenomeni.



**Urti contro i cordoli**

Alcune soluzioni a questo problema potrebbero essere quelle di aumentare l'inerzia del sistema, per rallentarne la risposta e dunque renderla insensibile a picchi che hanno carattere di tipo "impulsivo", oppure cambiare direttamente il principio di azione, prendendo come segnale "pilota" qualcosa che non venga sottoposto a picchi.

Un dispositivo elettronico potrebbe essere semplicemente programmato per ovviare al problema, tuttavia in questa sede si ricerca l'alternativa meccanica più conveniente.

Ultima considerazione da fare riguarda il fatto che il dispositivo andrà montato su una ruota, quindi sottoposto alla forza centrifuga. A seconda del principio di funzionamento bisognerà tenere ben presente delle velocità di rotazione del cerchio dunque tenere conto di questo fenomeno inevitabile e prendere le dovute precauzioni.

È auspicabile sfruttare questa forza come un vantaggio invece di considerarla un problema, ma occorre effettuare una valutazione molto precisa ed accurata, oppure, in alternativa, rendere in ogni caso il dispositivo completamente insensibile a questo fenomeno, controllando la distanza dall'asse di rotazione ed il peso di ogni componente.

### *5.3.1.3 – Valutazione dei nuovi processi di fabbricazione*

Appurato definitivamente che per risolvere il problema occorrerà progettare una valvola automatica miniaturizzata di sfiato aria, cominciamo a prendere in esame lo stato dell'arte riguardante la tecnologia di costruzione ed in seguito delle soluzioni presenti sul mercato: prima verrà acquisita una determinata cultura tecnica riguardante il “come” realizzare il prodotto, poi sul “cosa” produrre.

In questo paragrafo andremo ad analizzare le tecnologie di costruzione a disposizione per realizzare il prodotto in esame. È opportuno chiarificare a questo punto le possibilità concrete di fabbricazione, al fine di comprendere nella progettazione concettuale delle soluzioni effettivamente realizzabili, in modo da non veder sorgere dei problemi alla soglia della costruzione del prototipo. Questa analisi preventiva permetterà quindi un notevole risparmio di tempo ed energie.

Fino a questo punto infatti sono stati presi in considerazione concetti, effetti e fenomeni fisici in grado di risolvere il problema preposto, tuttavia, arrivati a questo punto, occorre una presa di conoscenza delle varie possibilità di costruzione.

Fortunatamente, grazie alla struttura degli strumenti del TRIZ, si sono già selezionate varianti tali da non costituire delle criticità in fase di progetto e costruzione.

Per prendere in esame le varie tecnologie a disposizione verranno considerate le soluzioni presenti sul mercato e di conseguenza verranno analizzate dal punto di vista costruttivo. La pluralità di alternative trovate e la varietà di mercati alle quali sono rivolte permetterà sicuramente un ampio spettro di indagine.

L'analisi verrà ristretta alle valvole di sfiato a molla ed ai regolatori di pressione, cioè a quelle che sono le soluzioni commerciali più affini al prodotto che si vuole costruire. Le altre alternative non vengono scartate a priori da un punto di vista concettuale, ma nello studio dei processi di fabbricazione appare irrilevante considerare come vengono costruiti dispositivi completamente diversi dalla valvola in esame, come il galleggiante dei tappi di sfiato aria, per esempio.

A seconda dell'uso a cui queste valvole vengono destinate, la costruzione si presenta in maniera completamente diversa sia in forma che in materiali.

Cominciamo dall'analisi delle valvole per impieghi speciali, più ricche di idee dal punto di vista costruttivo.

Nel caso in cui la destinazione sia un impianto a vapore, allora si ha una soluzione di questo genere:



**Valvola per impianti a vapore**

Il corpo della valvola viene realizzato in ghisa mediante fusione mentre i componenti interni sono realizzati con acciai al carbonio, acciai legati ed eventualmente anche acciai inox. La lavorazione dei componenti in acciaio avviene mediante stampaggio e macchina utensile. Dovendo sopportare condizioni estreme di lavoro la taratura del dispositivo viene fatta ad una pressione di 70 bar ed in collaudo viene portato a 538°C.

Gli attacchi alle tubazioni possono essere quelli flangiati come indicato ma anche realizzati mediante saldatura.

Ovviamente questa valvola è grande e pesante e le tecnologie di realizzazione mal si prestano alla nostra soluzione, soprattutto perché questa valvola è progettata per lavorare con un fluido interno ad alte pressioni e temperature, al contrario della soluzione in progetto.

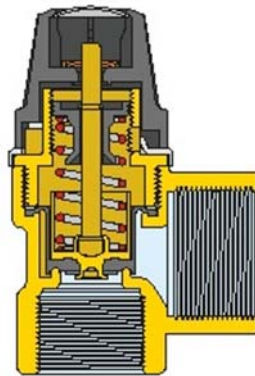
Un'altra valvola, analoga alla precedente, è la seguente:



**Valvola per impianti a vapore**

questa viene dotata di un dispositivo a soffietto che impedisce la torsione del tappo e dunque della molla. In questo caso essa è dotata di una guarnizione di tenuta in teflon ed è destinata sempre per l'applicazione in impianti a vapore. L'elemento in altro non è altro che un attuatore, pilota dell'apertura/chiusura della valvola.

Una soluzione diversa, studiata e dedicata agli impianti ad acqua calda o ai pannelli solari è questa:

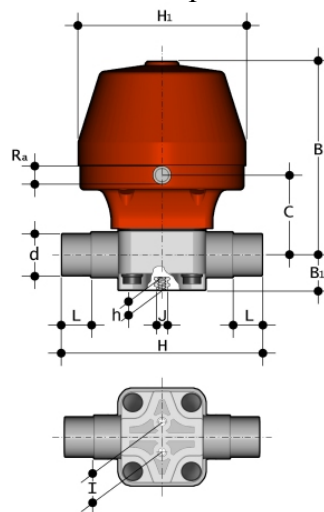


**Valvola per impianti ad acqua calda**

Il corpo e gli organi principali sono realizzati in ottone, ottenuti mediante fusione e lavorazione alla macchina utensile. La tenuta del tappino viene garantita da una guarnizione in elastomero. La taratura, a seconda dei modelli, avviene tra i 3 ed i 10 bar ed è in grado di resistere ad una temperatura di circa 160°C. Infine, è presente un tappo zigrinato per la regolazione manuale della pressione di soglia. Chiaramente, questa è un'alternativa “domestica” dove sia l'ambiente di utilizzo sia la natura del fluido non sono pericolosi.

La scelta dell'ottone dipende sicuramente dalle problematiche di corrosione cui è sottoposto l'impianto, cui è prevista per legge una revisione bi-annuale.

Un'altra applicazione, diversa dalle precedenti ma sempre destinata agli ambienti “ostili” è la seguente:



**Valvola per impianti con fluidi abrasivi**

Questa valvola viene applicata negli impianti in cui circolano fluidi abrasivi. Viene costruita nel corpo in alcune varianti di PVC o ABS, a seconda dei casi, mentre l'attuatore è sempre in PP caricato da fibra di vetro. La natura dei materiali rendono questo dispositivo in grado di sopportare specificatamente fluidi che portano al danneggiamento ed alla corrosione degli organi interni, ma sopporta al massimo pressioni di 10 bar a temperature di 20°C.

Le materie plastiche vengono lavorate per fusione ed, eventualmente, con le macchine utensili.

Di particolare interesse l'uso di materiali compositi per gli organi interni. In questo caso la resistenza meccanica del corpo e degli altri organi viene messa in secondo piano. Prima di tutto è indispensabile una buona resistenza alla corrosione.

Veniamo a considerare ora valvole di sfiato per applicazioni su impianti ad alta pressione:



**Valvola per impianti ad acqua calda ad alta pressione**

In questo caso il principio di funzionamento è il medesimo dei precedenti, tuttavia, le grandi pressioni in gioco richiedono lo sviluppo di una grande forza elastica. Per questo motivo la molla esce dalla carcassa della valvola e viene collocata in vista. Il corpo è sempre costruito in ottone ma la molla è in acciaio. La tenuta viene realizzata con una guarnizione in elastomero.

Passiamo dunque alle valvole di sicurezza costruite per lavorazione alla macchina utensile:






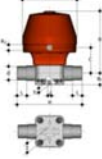



**Valvole per macchine automatiche**

Tutta questa gamma di componenti viene costruita in acciaio e lavorata alla macchina utensile, indipendentemente dalla destinazione. Si tratta di componenti destinati specificatamente alle macchine automatiche, come accessori degli impianti pneumatici od oleodinamici. Tutti questi prodotti hanno il pregio di essere compatti e di facile installazione, appunto per agevolare il montaggio nelle macchine. Il loro principio di funzionamento è sempre mediante molla, sempre collocata all'interno del dispositivo, costruito però per essere attraversato in senso assiale dal fluido. La prima soluzione poi, prevede il montaggio all'interno di una cava specifica, favorendone la compattezza.

In conclusione, volendo considerare le possibili tecnologie di realizzazione dei componenti miniaturizzati e volendo tenere conto di un approssimativo bilancio dei costi, la valvola oggetto di questo studio potrà essere costruita in lega metallica e lavorata alla macchina utensile oppure anche in materiale plastico, sempre lavorato all'utensile.

Alternative quali stampaggio, fusione, microfusione ecc..., cioè tutte quelle tecnologie che richiedono la costruzione di modelli, forme ecc... non sono in questo momento del progetto alternative economicamente convenienti, in quanto destinate a grandi lotti di produzione.

Sarà però un'ulteriore peculiarità del progetto permettere attraverso pochissime modifiche il cambiamento anche radicale della tecnologia di costruzione. Verranno messe in atto dunque tutta una serie di osservazioni in modo da permettere questa variazione.

Schema relativo alle tecnologie costruttive delle valvole in commercio		
Immagine	Materiali	Tecnologie
	ghise acciai al carbonio acciai inox	fusione stampaggio macchine utensili
	ghise acciai al carbonio acciai inox	fusione stampaggio macchine utensili
	ottone polimeri acciai	fusione microfusione stampaggio
	tecnopolimeri PVC o ABS caricati con fibra di vetro	fusione macchine utensili
	acciaio ottone	fusione macchine utensili
	acciaio	macchine utensili
	acciaio	macchine utensili



### 5.3.2 – Analisi tecnica delle soluzioni presenti sul mercato



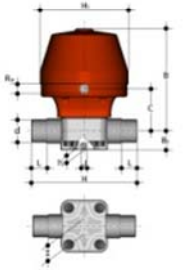
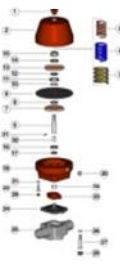


Una delle fasi più importanti di chiarificazione del compito, sia che si stia adottando il metodo QFD sia il metodo TRIZ, è quella di reperire una documentazione sufficientemente ricca ed approfondita riguardante lo stato dell'arte al momento di avvio del progetto, pertanto, una volta analizzato l'ambiente di destinazione del prodotto è stata condotta anche una ricerca al fine di reperire informazioni in merito a quante più possibili soluzioni siano già presenti sul mercato, sia in un campo analogo, sia in altri ambiti, in modo da avere una visuale più ampia possibile delle alternative già esistenti.

Al momento, nel mondo delle corse di kart, non esistono dispositivi dalla funzione analoga a quello che si vuole sviluppare, mentre in altri campi esistono numerosi cataloghi di valvole in grado di controllare la pressione in un determinato ambiente.

In particolare, vista la familiarità acquisita nel corso di studi con macchine automatiche ed impianti in generale, sono state ricercate in questi settori alcune possibili varianti di soluzione al problema.

Mediante l'ausilio di internet sono stati sfogliati una grande quantità di cataloghi on-line di aziende produttrici di valvole di massima, valvole di sfianto, valvole di sicurezza ecc. ed in seguito, le principali varianti di soluzione sono state ordinate in una tabella excel, dove oltre ad una rappresentazione schematica ed una descrizione sintetica dell'oggetto è anche stata indicata l'affinità dello stesso al lavoro in questione.

Vediamo un estratto in figura, la tabella completa verrà invece presentata in appendice:

3	smalle			una membrana o un tappetino per gli ambienti a pressione diversi. La separazione della membrana o tappetino apre/chiede la fiamma. La membrana o tappetino di apertura/chiusura		ricerca e precisione psichica e malle, consente una regolazione	difficile miniaturizzazione, non correttezza di amplificazione della forza	interessante la duplicità a 90° degli ugelli
4	smalle			L'attuatore è una membrana tenuta da una molla, questa è puritativa e normalmente chiusa		ricerca e precisione psichica e malle, consente una regolazione	il grande numero di componenti che presentano queste soluzioni fa sì che la miniaturizzazione non diventi un lavoro estremamente laborioso	questa alternativa viene prodotta per lavorare con fluidi abrasivi
5	smalle			L'attuatore è un tappo, trattenuto da una molla. In questa caso è presente anche una maniglia di bloccaggio/bloccaggio		soluzione interessante per la precisione	miniaturizzazione non impossibile o l'elemento che serve per l'apertura e l'innalzamento della forza della molla non serve nel nostro caso	si usano grandi impianti a vapore

Estratto della tabella "analisi delle soluzioni di mercato"

L'organizzazione della tabella è molto semplice, da sinistra a destra sono stati inseriti un nome convenzionale del dispositivo, una foto semplice, un disegno tecnico e la descrizione generale del principio di funzionamento. La casella colorata indica invece il grado di affinità col progetto in corso mentre ancora a destra le caselle contengono descrizioni sui pro, i contro, varie peculiarità ecc...

È stata poi condotta, in parallelo, anche una ricerca brevettuale, al fine di reperire informazioni riguardo alla possibilità di progettare l'oggetto liberi da vincoli legislativi e sfruttare eventualmente i benefici economici in via esclusiva nel caso in cui si ottenga una soluzione innovativa ed è stato constatato che, in

Italia, non esistono né valvole di massima brevettate, né tantomeno oggetti che in qualche modo sono simili a quello che si vuole costruire, pertanto un'eventuale registrazione del prodotto è possibile. Veniamo dunque a descrivere nel dettaglio i vari principi di soluzione incontrati nel corso della ricerca.

#### 5.3.2.1– Valvola di sfiato a galleggiante

Nello studio sono state introdotte soluzioni dai molteplici principi di funzionamento, al fine di considerare il maggior numero di alternative possibili, in accordo con la filosofia del metodo TRIZ, che prevede appunto l'allargamento culturale in tutte le direzioni.



**Valvole a galleggiante**

Questo dispositivo viene applicato in impianti che prevedono la circolazione di liquidi come gli impianti ad acqua calda di riscaldamento, i pannelli solari, ecc. ed il suo funzionamento è semplicissimo. Un piccolo serbatoio, posizionato nel punto più alto dell'impianto, funziona da accumulo di tutto il gas che circola nelle tubature. Mano a mano che questo succede, il livello del liquido nel serbatoio scende e con esso il galleggiante. Questo galleggiante a sua volta è collegato direttamente ad una valvola che apre lo sfiato del gas.

Quando è sfuggito abbastanza gas il livello del fluido risale e lo sfiato viene chiuso.

Questo dispositivo è automatico, sicuro ed efficiente, tuttavia non è applicabile al nostro progetto in quanto prevede la presenza di un liquido ed un'installazione in una posizione stabile.

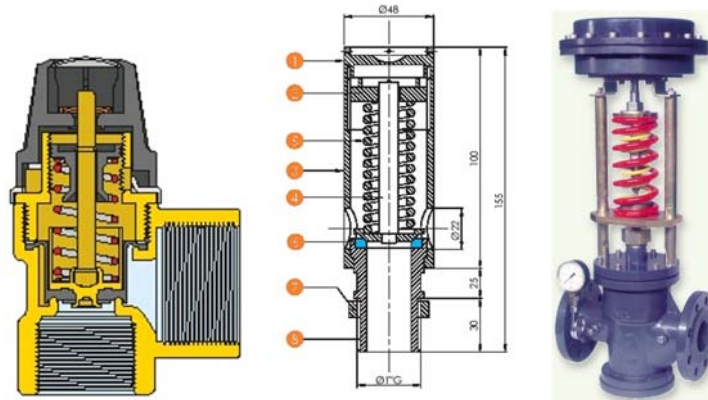
#### 5.3.2.2– Valvola di sfiato per gravità

Questo dispositivo si trova praticamente montato su tutte le pentole a pressione di uso domestico, il suo funzionamento è semplicissimo e sicuro. La valvola si oppone all'uscita del gas col suo stesso peso e soltanto al superamento di una certa soglia di pressione il vapore è in grado di sollevare il corpo della valvola e liberarsi una via di fuga.

Questa soluzione è decisamente conveniente e semplice poiché non prevede componenti particolari o calcoli specifici, oltre a quello della massa del corpo e del diametro delle luci di sfiato.

Il problema di questa variante però, problema che ne preclude l'utilizzo nel progetto in corso, è quello che prevede anch'esso un'installazione statica, come la valvola a galleggiante, in quanto la forza di gravità agisce in un solo senso.

### 5.3.2.3 – Valvola di sicurezza, regolatore di pressione a molla e membrana



Valvole a molla per vari impieghi

Si tratta di un'altra soluzione estremamente diffusa sul mercato, anzi, si tratta proprio dell'alternativa più frequente di tutte, applicata e sviluppata da moltissime aziende ed usata, a seconda delle varianti, tra i 0.5 ed i 400 bar.

In questo caso la differenza di pressione tra due ambienti, dei quali uno può essere a pressione atmosferica, si oppone direttamente alla forza esercitata da una molla, valore che stabilisce la soglia di apertura della valvola. La tenuta tra i due ambienti viene garantita da un tappo o da una membrana di forme e materiali opportune a tollerare le condizioni del fluido operatore. Nel caso di acqua il tappo è semplicemente corredato da una guarnizione, nel caso di valvole per vapore il tappo è in acciaio inox collegato con un accoppiamento di forma.

Questo genere di soluzione, riscontrabile nella stragrande maggioranza dei casi, può effettivamente essere adattata, con opportune modifiche, anche al progetto in corso. Le principali problematiche di cui tenere conto tuttavia sono:

1. *miniaturizzazione*
2. *amplificazione delle forze*
3. *resistenza alla forza centrifuga*
4. *resistenza agli urti*
5. *resistenza ai picchi di pressione.*

Il componente in esame non lavora con un fluido pericoloso per la sua struttura, ma riceve dall'ambiente circostante tutta una serie di sollecitazioni negative di cui tenere conto.

#### 5.3.2.4 – Valvola di sicurezza a disco di rottura

Vediamo in figura questo particolare sistema di sicurezza:



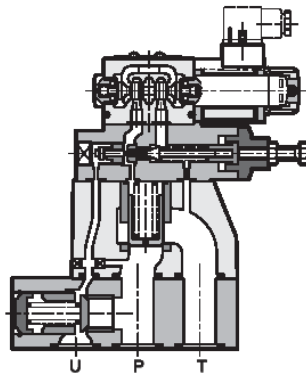
**Disco di rottura**

Questa alternativa rappresenta sempre il sistema di sicurezza estremo di un impianto. Il disco di rottura è un elemento che separa due ambienti e viene calcolato e costruito affinché collassi al raggiungimento di una certa soglia critica. Il collasso mette in comunicazione i due ambienti.

I dischi di rottura possono funzionare con vari principi di funzionamento, pressione o temperatura ed il loro funzionamento è ovviamente unico ed irreversibile, quindi richiede oltre ai calcoli di sicurezza anche alcuni accorgimenti rivolti a facilitarne la sostituzione.

Questa soluzione però non è accettabile nell'ambito del progetto in questione, poiché nel nostro caso è indispensabile un funzionamento automatico e reversibile, cioè la valvola deve aprirsi o chiudersi in funzione dei valori della pressione.

#### 5.3.2.5 – Valvola di sicurezza elettronica/digitale



**Sezione schematica di una elettrovalvola**

Si tratta di costruire un circuito elettrico dove un sensore rileva la pressione interna della gomma e trasmette ad un chip il segnale. L'elaborazione del segnale prevede l'azionamento di una servovalvola che apre e chiude la gomma, permettendone l'apertura e la chiusura.

Questa alternativa, seppur costosa, rappresenta l'ideale di soluzione, in quanto affida ad un calcolatore il controllo continuo delle condizioni del pneumatico e dell'eventuale necessità di sfiato dell'aria in eccesso. Questa soluzione tuttavia vede delle difficoltà nella miniaturizzazione dei componenti, in quanto lo spazio a disposizione è estremamente limitato, inoltre si trova in disaccordo con le richieste di semplicità che derivano dalle persone che lavorano nell'ambiente delle corse.

Nel caso in cui dovesse rendersi indispensabile costruire questo genere di oggetto è palese che dovranno essere spese risorse al fine di rendere il prodotto quanto più semplice ed intuitivo possibile.

### 5.3.3 – Stesura della specifica tecnica

Passiamo ora a lavorare su tutta quella serie di operazioni che porteranno alla specifica tecnica del metodo QFD. Questa operazione rappresenta la “base” dalla quale partirà il confronto col metodo TRIZ.

#### 5.3.3.1 – Definizione delle geometrie del problema

L’analisi del problema ha portato alla stesura di numerose caratteristiche indispensabili alla buona riuscita del prodotto, tuttavia, la principale problematica, è quella delle dimensioni di ingombro esterno.

Per motivi regolamentari, per motivi di semplicità ecc. è apparso evidente il dover mettere a punto un dispositivo in grado di applicarsi alla ruota attraverso l’unico punto di interfaccia presente, cioè la valvola di gonfiaggio.

Per raggiungere questo scopo non è sufficiente però costruire soltanto una semplice filettatura, ma diventa necessario miniaturizzare tutti i componenti del dispositivo, mantenendo in essi la precisione e la cura costruttiva indispensabile al buon funzionamento.

Indubbiamente, il problema di miniaturizzazione è maggiormente rappresentato nella ruota anteriore, che dimensionalmente è più piccola e stretta.



**CAD di una gomma anteriore di kart**

Indicativamente, il dispositivo deve rientrare nello spazio di un parallelepipedo di dimensioni massime 30x20x20 mm, in modo da non sporgere oltre la spalla della gomma. Se si verificasse questa condizione la valvola potrebbe venire danneggiata da eventuali urti, fenomeni assai frequenti nel corso di una gara.

Riuscire a sfruttare lo spazio interno del cerchione e delegare alla spalla della gomma l’assorbimento delle sollecitazioni appare indubbiamente una soluzione decisamente preferibile.

Contemporaneamente, tuttavia, è stato deciso di conservare all’interno della valvola lo spillo di sicurezza, quindi si è scelto di non rimuoverlo, soluzione rivolta a garantire una sicurezza superiore ai piloti.

Nel malaugurato caso infatti che avvenga il distacco del dispositivo la gomma manterrà la sua pressione di gonfiaggio, eventualmente anche eccessiva, ma consentirà il ritorno del mezzo ai box in condizioni di sicurezza. Nell’altro caso cioè senza spillo, andrebbe indubbiamente progettato un sistema di ancoraggio tale da impedire la perdita del dispositivo in pista, evento che causerebbe l’immediata perdita di pressione dalla gomma e dunque metterebbe il mezzo a rischio di incidenti.

In casi particolarmente fortunati poi, la pressione delle gomme potrebbe essere tale per cui anche con la perdita del dispositivo un pilota potrebbe portare a termine una corsa.

Viste le presenti considerazioni appare ovvia la scelta di non manomettere in nessun caso la gomma, il cerchione o la valvola di gonfiaggio.

#### 5.3.3.2 – Impostazione delle matrici QFD

Gli strumenti specifici di chiarificazione del compito del metodo QFD vengono organizzati attraverso una serie di matrici precedentemente descritta in maniera dettagliata. In questa fase del lavoro sono state

messe in pratica sul progetto in corso, introduciamo pertanto i risultati ottenuti, corredati di un commento adeguato.

La semplicità concettuale del dispositivo ci permette infatti di operare una serie di considerazioni tale da riuscire a discutere la validità di un eventuale risultato e operare un confronto efficace con la chiarificazione del compito che deriverà dall'applicazione del secondo metodo e del software dedicato.

Veniamo dunque ad osservare la prima matrice decisionale del progetto: la matrice di interrelazione 1° uso:

MATRICE DI INTERRELAZIONE 1° USO								
Effetti (righe) Cause (colonne)	Funzionalità	Semplicità d'uso	Resistenza alle condizioni ostili	Maneggevolezza	Ergonomia	Sicurezza	Affidabilità	TOTALE
Funzionalità		1	9	3	1	9	9	32
Semplicità d'uso	1		3	9	9	3	1	26
Resistenza alle condizioni ostili	1	1		3	1	9	1	16
Maneggevolezza	3	1	3		9	3	1	20
Ergonomia	1	3	3	1		3	1	12
Sicurezza	9	1	9	3	3		9	34
Affidabilità	9	1	9	1	1	1		22
TOTALE	24	8	36	20	24	28	22	

Matrice di interrelazione 1° uso

Come sappiamo, questa matrice presenta nelle righe e nelle colonne le medesime voci, che sono le caratteristiche emerse dalle domande affrontate in precedenza.

Sinteticamente, le caratteristiche sono le seguenti:

- **Funzionalità:** intesa come efficacia di funzionamento
- **Semplicità d'uso**
- **Resistenza alle condizioni ostili**
- **Maneggevolezza:** intesa come semplicità di trasporto e di montaggio
- **Ergonomia:** riguardo al montaggio, si è pensato di rendere il dispositivo montabile con le sole mani, senza l'uso di utensili specifici
- **Sicurezza**
- **Affidabilità**

Dalla serie di paragoni è emerso che la resistenza alle condizioni ostili è la caratteristica che maggiormente influenza le altre, mentre in seconda posizione viene la sicurezza. Questo risultato era chiaramente prevedibile, poiché in un ambiente altamente competitivo come le corse di veicoli la resistenza e la sicurezza dei dispositivi che corredano i mezzi rappresentano caratteristiche irrinunciabili.

Risultato ulteriore della matrice è il seguente: la sicurezza è il parametro che più viene influenzato dagli altri. Anche questo risultato era atteso, infatti in una progettazione corretta, ogni caratteristica contribuisce al buon funzionamento del sistema complessivo, dunque influenza in maniera positiva la sicurezza del dispositivo e delle persone correlate con esso.

Passiamo ora al secondo uso della matrice di interrelazione:



MATRICE DI INTERRELAZIONE 2° USO									
Effetti (righe) Cause (colonne)	Funzionalità	Semplicità d'uso	Resistenza alle condizioni ostili	Maneggevolezza	Ergonomia	Sicurezza	Affidabilità	TOTALE	NORMAL
Funzionalità	1	1	1	2	2	1	1	9	0,184
Semplicità d'uso	1	1	0	1	1	0	0	4	0,082
Resistenza alle condizioni ostili	1	2	1	2	2	1	1	10	0,204
Maneggevolezza	0	1	0	1	1	0	0	3	0,061
Ergonomia	0	1	0	1	1	0	0	3	0,061
Sicurezza	1	2	1	2	2	1	1	10	0,204
Affidabilità	1	2	1	2	2	1	1	10	0,204

Matrice di interrelazione 2° uso

Con la presente matrice, sono stati estratti invece i parametri dominanti del prodotto che si intende progettare.

Come era possibile prevedere, sono emerse tre caratteristiche nettamente dominanti:

1. *resistenza alle condizioni ostili*
2. *sicurezza*
3. *affidabilità*

La funzionalità ha anch'essa un peso elevatissimo, anche se in secondo piano rispetto agli altri aspetti.

Caratteristiche come semplicità d'uso, maneggevolezza ed ergonomia sono invece parametri che possono indubbiamente migliorare il livello qualitativo del prodotto ma non sono importanti come la sicurezza e l'affidabilità del sistema.

Questo risultato non solo era quasi scontato, ma anche completamente in accordo con l'ambiente di destinazione della valvola, infatti, nell'ambiente delle gare ogni aspetto legato al risultato viene sviluppato mentre tutto quello che è "laterale" acquista interessi solo di tipo marginale.

---0---

L'ultima matrice messa in essere durante la chiarificazione del compito è quella di relazione, anche detta dei cosa/come. In questa tabella sono presenti sia le caratteristiche precedentemente analizzate, corredate di un'importanza relativa, ed anche i parametri su cui lavorare per raggiungere il risultato.

MATRICE DI RELAZIONE									
Come (colonne) Cosa (righe)	Importanza	Materiali	Dimensioni	Facilità di montaggio su	Facilità di taratura	Facilità di fabbricazione	Facilità di assemblaggio	Progetto robusto	TOTALE
Funzionalità	4	3	3	3	1	3	3	3	23
Semplicità d'uso	2	1	1	9	9	1	1	9	33
Resistenza alle condizioni ostili	5	9	1	1	1	1	1	1	20
Maneggevolezza	1	3	9	9	3	1	1	9	36
Ergonomia	1	3	9	9	3	1	1	9	36
Sicurezza	5	9	1	1	3	1	1	1	22
Affidabilità	5	9	1	1	3	3	1	1	24
<b>Importanza tecnica</b>		<b>155</b>	<b>47</b>	<b>63</b>	<b>63</b>	<b>41</b>	<b>31</b>	<b>63</b>	

**Matrice di relazione**

I “cosa” della matrice, cioè le azioni da compiere durante lo sviluppo costruttivo del prodotto sono stati classificati come:

- ***Materiali***
- ***Dimensioni***
- ***Facilità di montaggio***
- ***Facilità di taratura***
- ***Facilità di fabbricazione***
- ***Facilità di assemblaggio***
- ***Progetto robusto***

Dalle considerazioni svolte nella compilazione della matrice è emerso che una scelta adeguata dei materiali costruttivi della valvola rappresenta l'azione più importante, in quanto in grado di influenzare quante più caratteristiche fondamentali al prodotto in corso di studio.

---0---



Svolto questo lavoro di indagine, è possibile trarre determinate considerazioni di carattere tecnico ed ordinarle in un'apposita tabella riassuntiva:

Requisiti ricavati da QFD	
Requisiti cliente: COSA?	Requisiti generali di specifica tecnica: COME?
Funzionalità	Sistema automatico di sfiato pressione a molla
Semplicità d'uso	Montaggio diretto in sostituzione del cappuccio delle valvole di gonfiaggio. Nessuna operazione ulteriore. Pressioni di sfiato già impostate dal costruttore (vari modelli)
Resistenza alle condizioni ostili	Corpo solido in materiale metallico o tecnopolimero che contiene tutto il meccanismo, pochissime parti in movimento, riduzione al minimo di aperture/possibili vie di infiltrazione sporco.
Maneggevolezza	Dimensioni ridotte, peso ridotto
Ergonomia	Facilitare la manipolazione, zigrinare la superficie esterna
Sicurezza	Il meccanismo deve essere insensibile ai picchi di pressione derivanti dagli urti coi cordoli o con altri kart ed in caso di malfunzionamento del dispositivo NON deve permettere alla gomma di sgonfiarsi
Affidabilità	Il funzionamento deve protrarsi per almeno una sessione di gara, dopodiché è accettabile una sostituzione

#### Requisiti

Questo schema non è ancora una specifica tecnica, ma riassume una lista di azioni in grado di rispondere al meglio ai requisiti che hanno influenzato fin dall'inizio il progetto.

Analizziamo nel dettaglio tutte le varie soluzioni che si intendono adottare:

1. **Funzionalità:** verrà costruito un dispositivo dal principio di funzionamento a molla
2. **Semplicità d'uso:** il componente andrà a sostituire il cappuccio della valvola, avrà dimensioni analoghe e verrà montato manualmente sulla valvola di gonfiaggio, senza l'uso di alcuno strumento. La pressione di sfiato verrà impostata direttamente dal costruttore che provvederà a commercializzare una gamma di dispositivi dalle diverse pressioni di soglia.
3. **Resistenza alle condizioni ostili:** la valvola di sfiato verrà costruita in tecnopolimero o lega leggera, poi assemblata in maniera irreversibile.
4. **Maneggevolezza:** contenimento delle dimensioni esterne e del peso.
5. **Ergonomia:** le valvole dalle diverse pressioni di soglia verranno prodotte in colori diversi, in modo da facilitare il riconoscimento dei vari modelli. La superficie esterna verrà zigrinata per migliorare l'attrito coi polpastrelli delle dita dei meccanici.
6. **Sicurezza:** il dispositivo verrà dotato di un sistema di sicurezza supplementare contro i picchi di pressione, calibrato in modo che il verificarsi di un guasto non metta mai il pilota in condizioni di pericolo.
7. **Affidabilità:** costruzione della valvola affinché il funzionamento si protragga senza complicazioni per il tempo di una gara ed oltre. Prescrizione sul manuale di una sostituzione del componente dopo ogni gara, o più frequentemente, nel caso si siano verificati urti o danneggiamenti sulla superficie esterna della valvola.

Attraverso questa serie di informazioni la stesura della specifica tecnica dovrebbe portare alla progettazione di un componente di buona qualità, tale da incontrare le necessità del mercato e dei clienti. Ulteriore considerazione, questa stesura può coincidere con quello che il TRIZ chiama “IFR”, il risultato finale ideale, pertanto, tutta questa serie di concetti verrà poi inserita anche nel software TechOptimizer, per il raggiungimento della soluzione “informatica” al problema.

#### 5.3.3.3 – Redazione della specifica tecnica

Il termine della fase di chiarificazione del compito prescritta dal metodo QFD consiste appunto nella stesura della specifica tecnica, quel documento nel quale sono riassunti tutti i parametri da considerare nelle fasi successive di progetto, dove vengono scelte le varianti e realizzati i disegni costruttivi.

Nel nostro progetto la specifica tecnica è la seguente:

Specifica tecnica	
<b>Dimensioni esterne</b>	parallelepipedo di 30x20x20
<b>Attacco alla valvola</b>	filettatura specifica
<b>Maneggevolezza</b>	forma esterna cilindrica o prismatica
<b>Peso</b>	pochi grammi
<b>Funzionamento</b>	apertura alle pressioni comprese tra 1.2 e 2.0 bar, con taratura effettuata in azienda. Nessuna modifica permessa agli utenti, carcassa sigillata
<b>Materiali</b>	tecnopolimero colorato (per identificare le diverse soglie di pressione) o lega leggera
<b>Sistema di sicurezza</b>	dispositivo normalmente chiuso, tenuta garantita anche in caso di malfunzionamento, insensibilità ai picchi di pressione. Mantenimento dello spillo di sicurezza presente in ogni valvola, in caso di guasto o perdita in corsa del dispositivo la gomma NON deve sgonfiarsi

**Specifica tecnica**

Come è possibile osservare, questo documento è estremamente sintetico e contiene il risultato di tutte le considerazioni espresse in precedenza.

### 5.3.3.4 – Matrice morfologica

Nel momento in cui viene redatta la specifica tecnica è possibile cominciare ad analizzare l'insieme delle possibili soluzioni da adottare sia nei confronti dei parametri costruttivi sia nei confronti delle varie problematiche che si sono manifestate nelle fasi di lavoro precedenti.

Il metodo QFD prevede di ordinare in un'ulteriore matrice tutta la serie di soluzioni che si possono mettere in pratica e di scegliere all'interno di queste matrici un vero e proprio "percorso costruttivo".

La tabella che assolve a questo compito viene detta matrice morfologica. Osserviamo ora questa matrice applicata al progetto in esame:

Matrice morfologica					
	Analisi funzionale/caratteristiche	Soluzione	Soluzione	Soluzione	Soluzione
1	Carcassa	Tecnopolimero	Lega alluminio	Lega magnesio	Acciaio
2	Molla/Sistema elastico	Elicoidale metallica	Elicoidale polimero	Polimero	
3	Membrana	Elastomero	Metallico		
4	Tenuta	Guarnizione	Accoppiamento di forma		
5	Collegamento	Filettatura	Inserimento a pressione		
6	Montaggio	Manuale	Con utensili		
7	Collegamento carcassa membrana	Incollaggio	Accoppiamento di forma		
8	Collegamento carcassa molla	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	
9	Collegamento molla membrana	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	

Matrice morfologica

La compilazione di questa tabella avviene grazie alla conoscenza da parte dei progettisti di quante più possibilità di soluzione si siano incontrate nel corso della carriera. In questa parte del lavoro la cultura personale o del gruppo acquista un peso notevolissimo poiché permette di ampliare questa tabella quindi aumentare in modo smisurato le possibilità di costruzione che si possono adottare.

Anche per questo motivo, quando viene svolta questa fase, è opportuno che i progettisti si organizzino in gruppi di lavoro, al fine di aumentare ancora l'apporto di conoscenze e di esperienza personale. In questo caso, una notevole agevolazione è pervenuta dalle analisi tecnologiche svolte in precedenza ed illustrate all'inizio di questo capitolo.

Nel dettaglio, per tutti i vari componenti della valvola sono state selezionate queste opzioni.

#### Carcassa:

1. Tecnopolimero
2. Lega di alluminio
3. Lega di magnesio
4. Acciaio

#### Molla/Sistema elastico:

1. Elicoidale metallica
2. Elicoidale polimero

### 3. Polimero

È stato presa in considerazione anche l'eventualità che la forza elastica in grado di mantenere in equilibrio il sistema venga esercitata da un componente elastico non obbligatoriamente costruito come molla elicoidale (gommapiuma ecc...)

#### **Membrana:**

1. Elastomero
2. Metallico

Una membrana metallica rappresenta la soluzione vista nelle valvole per impianti a vapore ad altissima pressione.

#### **Tenuta:**

1. Guarnizione
2. Accoppiamento di forma

#### **Collegamento:**

1. Filettatura
2. Innesto a pressione

Per collegamento si intende il montaggio della carcassa, poiché è stato assunto fin dall'inizio la costituzione di due parti di involucro esterno, elementi da montare secondo un principio da selezionare nella matrice morfologica.

#### **Montaggio:**

1. Manuale
2. Con utensili

Per montaggio si intende l'applicazione alla ruota.

#### **Collegamento carcassa-membrana:**

1. Incollaggio
2. Accoppiamento di forma

#### **Collegamento carcassa-molla:**

1. Semplice
2. Incollaggio
3. Accoppiamento di forma

**Collegamento molla-membrana:**

1. Semplice
2. Incollaggio
3. Accoppiamento di forma

In questi due ultimi casi con collegamento semplice si intende il contatto degli elementi senza particolari accorgimenti.

**5.3.3.5 – Identificazione delle varianti ottenute**

Passiamo ora a tracciare alcuni principali percorsi di soluzione, estrapolando dalla matrice morfologica generale le varianti costruttive. In questa analisi sono state trascurate a priori quelle combinazioni che portano a contraddizioni e che pertanto non possono essere realizzate.

<b>Matrice morfologica V1</b>					
	<b>Analisi funzionale/caratteristiche</b>	<b>Soluzione</b>	<b>Soluzione</b>	<b>Soluzione</b>	<b>Soluzione</b>
1	<i>Carcassa</i>	Tecnopolimero	Lega alluminio	Lega magnesio	Acciaio
2	<i>Molla/Sistema elastico</i>	Elicoidale metallica	Elicoidale polimero	Polimero	
3	<i>Membrana</i>	Elastomero	Metallico		
4	<i>Tenuta</i>	Guarnizione	Accoppiamento di forma		
5	<i>Collegamento</i>	Filettatura	Inserimento a pressione		
6	<i>Montaggio</i>	Manuale	Con utensili		
7	<i>Collegamento carcassa membrana</i>	Incollaggio	Accoppiamento di forma		
8	<i>Collegamento carcassa molla</i>	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	
9	<i>Collegamento molla membrana</i>	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	

**Matrice Morfologica V1**

La variante V1 prevede la costruzione di una valvola in tecnopolimero, munita di una molla elicoidale metallica, con membrana in elastomero che operi una tenuta sia fungendo da guarnizione sia mediante un accoppiamento di forma opportuna.

Il collegamento alla ruota avviene mediante la filettatura ed è previsto che venga operato manualmente senza l'impiego di utensili.

I collegamenti interni dei componenti della valvola viene realizzato con accoppiamenti di forma.

Matrice morfologica V2					
	Analisi funzionale/caratteristiche	Soluzione	Soluzione	Soluzione	Soluzione
1	Carcassa	Tecnopolimero	Lega alluminio	Lega magnesio	Acciaio
2	Molla/Sistema elastico	Elicoidale metallica	Elicoidale polimero	Polimero	
3	Membrana	Elastomero	Metallico		
4	Tenuta	Guarnizione	Accoppiamento di forma		
5	Collegamento	Filettatura	Inserimento a pressione		
6	Montaggio	Manuale	Con utensili		
7	Collegamento carcassa membrana	Incollaggio	Accoppiamento di forma		
8	Collegamento carcassa molla	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	
9	Collegamento molla membrana	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	

Matrice Morfologica V2

In questa seconda soluzione abbiamo una valvola costruita in lega di alluminio, provvista di organi metallici all'interno. La tenuta, dovrà però essere corredata di una guarnizione, per garantire la sicurezza. In precedenza, il collegamento alla ruota sfruttava la plasticizzazione del polimero, che garantiva un collegamento molto solidale, in questo caso è necessario un serraggio deciso pertanto è stato prevista la costituzione di un profilo affinché sia possibile usare una chiave.

I collegamenti degli organi interni, oltre ad essere realizzati di forma opportuna, dovranno poi essere sigillati attraverso resine chimiche specifiche, al fine di garantire la tenuta e la resistenza necessarie in esercizio.

Matrice morfologica V3					
	Analisi funzionale/caratteristiche	Soluzione	Soluzione	Soluzione	Soluzione
1	Carcassa	Tecnopolimero	Lega alluminio	Lega magnesio	Acciaio
2	Molla/Sistema elastico	Elicoidale metallica	Elicoidale polimero	Polimero	
3	Membrana	Elastomero	Metallico		
4	Tenuta	Guarnizione	Accoppiamento di forma		
5	Collegamento	Filettatura	Inserimento a pressione		
6	Montaggio	Manuale	Con utensili		
7	Collegamento carcassa membrana	Incollaggio	Accoppiamento di forma		
8	Collegamento carcassa molla	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	
9	Collegamento molla membrana	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	

Matrice Morfologica V3



In questa terza variante la carcassa della valvola è prevista in acciaio, materiale pesante ma anche molto resistente e facilmente lavorabile all'utensile. Non è presente una molla elicoidale ma viene usato per esempio un materiale plastico estremamente cedevole, come la gomma-piuma.

Il "sensore" di pressione potrebbe essere una lamina metallica estremamente sottile provvista di un'opportuna guarnizione.

Il fissaggio alla gomma, come per la soluzione precedente avviene mediante utensili, infine, poiché all'interno della valvola non c'è più la molla, non si rende più necessario un collegamento speciale, basterà modellare l'elemento cedevole in funzione dello spazio a disposizione.

Matrice morfologica V4					
	Analisi funzionale/caratteristiche	Soluzione	Soluzione	Soluzione	Soluzione
1	Carcassa	Tecnopolimero	Lega alluminio	Lega magnesio	Acciaio
2	Molla/Sistema elastico	Elicoidale metallica	Elicoidale polimero	Polimero	
3	Membrana	Elastomero	Metallico		
4	Tenuta	Guarnizione	Accoppiamento di forma		
5	Collegamento	Filettatura	Inserimento a pressione		
6	Montaggio	Manuale	Con utensili		
7	Collegamento carcassa membrana	Incollaggio	Accoppiamento di forma		
8	Collegamento carcassa molla	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	
9	Collegamento molla membrana	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	

Matrice Morfologica V4

Quest'ultima soluzione riprende nella quasi totalità la V1, ad eccezione della costituzione della membrana, infatti, questo componente prima era completamente realizzata in elastomero, mentre ora è previsto che venga realizzata con un'anima di metallo o comunque di un materiale che le conferisca rigidità, permettendole eventuali deformazioni soltanto in punti stabiliti.

Per non appesantire ulteriormente il lavoro, sono state prese in considerazione poche varianti significative del QFD, poiché in seguito verranno raggiunte anche da soluzioni proposte dal secondo metodo di lavoro.

#### 5.3.3.6 Valutazione delle varianti ottenute

Una volta ricavate dalla matrice morfologica le varianti di soluzione, è possibile valutare ognuna di esse attraverso una matrice decisionale, costruita in modo da realizzare un confronto e mettere in luce le varie criticità che si possono presentare.

La matrice decisionale verifica che ogni variante risponda a determinati requisiti di carattere generale:

- ❖ *Soddisfa le richieste della specifica?*
- ❖ *E' realizzabile in principio?*
- ❖ *Incorpora le misure di sicurezza?*
- ❖ *E' compatibile con le tecnologie della ditta?*
- ❖ *Si dispongono di adeguate informazioni?*

Attraverso questi quesiti emergono quelle varianti che sono state ben formulate e che dunque non nascondono eventuali problematiche a differenza di quelle che invece dovranno essere scartate.

In questo caso, avendo preso in esame quattro varianti principali, impostiamo la matrice decisionale tra esse:

Matrice decisionale (o di revisione del progetto)							
	Soddisfa la specifica?	E' realizzabile in principio?	Incorpora le misure di sicurezza?	E' compatibile con la tecnologia?	Si dispone di adeguate informazioni?	Osservazioni	Decisione
V1	+	+	+	+	+	è una soluzione che mal si presta ad un prototipo	+
V2	+	+	+	-	-	non si conosce bene il comportamento della lamina metallica	-
V3	+	+	+	+	-	necessita di una caratterizzazione dell'elemento elastico	-
V4	+	+	+	+	+	necessita di una attenta analisi del comportamento della membrana	+

**Matrice decisionale**

Da questa matrice emergono le criticità della variante V2 e della variante V3, poiché nella prima, si deve realizzare una tenuta metallo-metallo, mentre nella seconda si deve mettere in essere tutta una serie di prove sperimentali al fine di caratterizzare il comportamento elastico del nuovo elemento cedevole. Le varianti V1 e V4 sono quelle invece che maggiormente si prestano al proseguimento del progetto, poiché non manifestano contraddizioni “interne” o “esterne”.

A questo punto del progetto è dunque possibile effettuare qualche disegno di massima dei due componenti, in modo da proseguire il confronto tra le possibili soluzioni, ma, invece di operare la selezione della variante definitiva, è stato applicato il metodo TRIZ, in modo da sviluppare parallelamente ulteriori possibilità di soluzione.



## 5.4 Progetto concettuale

### 5.4.1 Introduzione al lavoro mediante software

Un'ulteriore componente innovativa del lavoro svolto, oltre all'applicazione di un metodo di progettazione alternativo, è stata anche quella di utilizzare per la prima volta un software di progettazione.

Questo applicativo, appartenente alla famiglia CAI, "Computer Aided Innovation", è stato sviluppato specificatamente per seguire le fasi del metodo TRIZ durante un progetto di ogni genere di prodotto o processo.

È bene innanzitutto puntualizzare che il programma non è in grado di sostituire i progettisti e prendere autonomamente decisioni, ma sfruttando la potenza di calcolo e la memoria di un personal computer è perfettamente in grado di sostituire tutte quelle operazioni di calcolo e confronto manuale con un'interfaccia utente semplice ed intuitiva.

#### 5.4.1.1 Impostazione del TechOptimizer

Terminata la fase di lavoro col metodo QFD, conclusasi con la designazione di due varianti concettuali, è stato riformulato il lavoro con il secondo metodo il TRIZ, attraverso l'utilizzo del software dedicato.

Il TechOptimizer è un programma organizzato in vari ambienti di lavoro:

- **Product Analysis**
- **Process Analysis (non usato nella presente tesi)**
- **Feature Transfer (non usato nella presente tesi)**
- **IM-Effect / Phenomenon**
- **IM-Principles**
- **IM-Prediction**
- **IM-Internet Assistant**
- **Problem Solving**

Alcuni di questi ambienti sono completamente indipendenti, trattando argomenti diversi, altri invece possono interagire in modo da costituire una serie di fasi concatenate di sviluppo del concetto e del prodotto.

---0---

La prima fase del lavoro si deve impostare inserendo nel programma i dati relativi al prodotto o al processo che si intende realizzare. Per questo motivo, esistono due ambienti paralleli che sono il Product ed il Process Analysis.

In questo caso, ovviamente, è stato usato il primo.

**Project name**  
Sistema di regolazione della pressione nei pneumatici kart

**Object name**  
valvola automatica di regolazione della pressione

**Life stage**  
operation

**Initial description of the situation**  
Costruzione di una valvola automatica miniaturizzata di regolazione della pressione dei pneumatici per kart durante una sessione di gara.

**Objectives**

Parameter	Condition	Unit	Current value	Desired value	Importance (1-10)
1 Resistenza alle condizioni ostili	Up				10
2 Sicurezza	Up				10
3 Affidabilità	Up				10
4 Funzionalità	Up				9
5 Semplicità d'uso	Up				4
6 Maneggevolezza	Up				3
7 Ergonomia	Up				3

1-least important; 10-most important

**Limitations**

Parameter	Condition	Unit	Value
1 Affidabilità	Greater than		valvola normalmente chiusa
2 Assemblaggio	Not more		progetto per l'assemblaggio
3 Controllabilità e qualità	Greater than		materiali adeguati e taratura con strumenti di classe elevata
4 Costi	Between	€	possibilità di spendere per un risultato positivo
5 Ergonomia e proprietà formali	Not less	//	maneggevolezza
6 Funzionalità	Not more		funzionamento completamente automatico
7 Manutenzione	Less than		nessuna

Schermata iniziale Product Analysis

In questo ambiente, oltre a qualche breve descrizione del prodotto che si vuole ottenere è indispensabile fornire in ingresso gli obiettivi che si intendono conseguire e le limitazioni del problema.

Ad ognuno di questi punti va poi inserita anche l'importanza relativa, valutata su una scala da 1 a 10.

Arrivando all'utilizzo del programma dopo un'applicazione completa del metodo QFD è stato deciso di inserire negli obiettivi le stesse caratteristiche individuate e nelle limitazioni la lista degli undici parametri di controllo.

I dati derivati dal QFD sono anche stati usati nell'attribuire il peso relativo di ogni parametro. Questa decisione ha indubbiamente snellito e semplificato enormemente tutte le operazioni sia computazionali sia logistiche successive di applicazione del metodo.

Gli obiettivi inseriti sono:

### Objectives Table:

(Dal QFD)

Num	Parameter	Condition	Unit	Current Value	Desired Value	Importance
1	Resistenza alle condizioni ostili	Up	/	/	/	10
2	Sicurezza	Up	/	/	/	10

<b>3</b>	Affidabilità	Up	/	/	/	<b>10</b>
<b>4</b>	Funzionalità	Up	/	/	/	<b>9</b>
<b>5</b>	Semplicità d'uso	Up	/	/	/	<b>4</b>
<b>6</b>	Maneggevolezza	Up	/	/	/	<b>3</b>
<b>7</b>	Ergonomia	Up	/	/	/	<b>3</b>
<b>Obiettivi</b>						

Mentre le limitazioni, i vincoli invece:

### Limitations Table

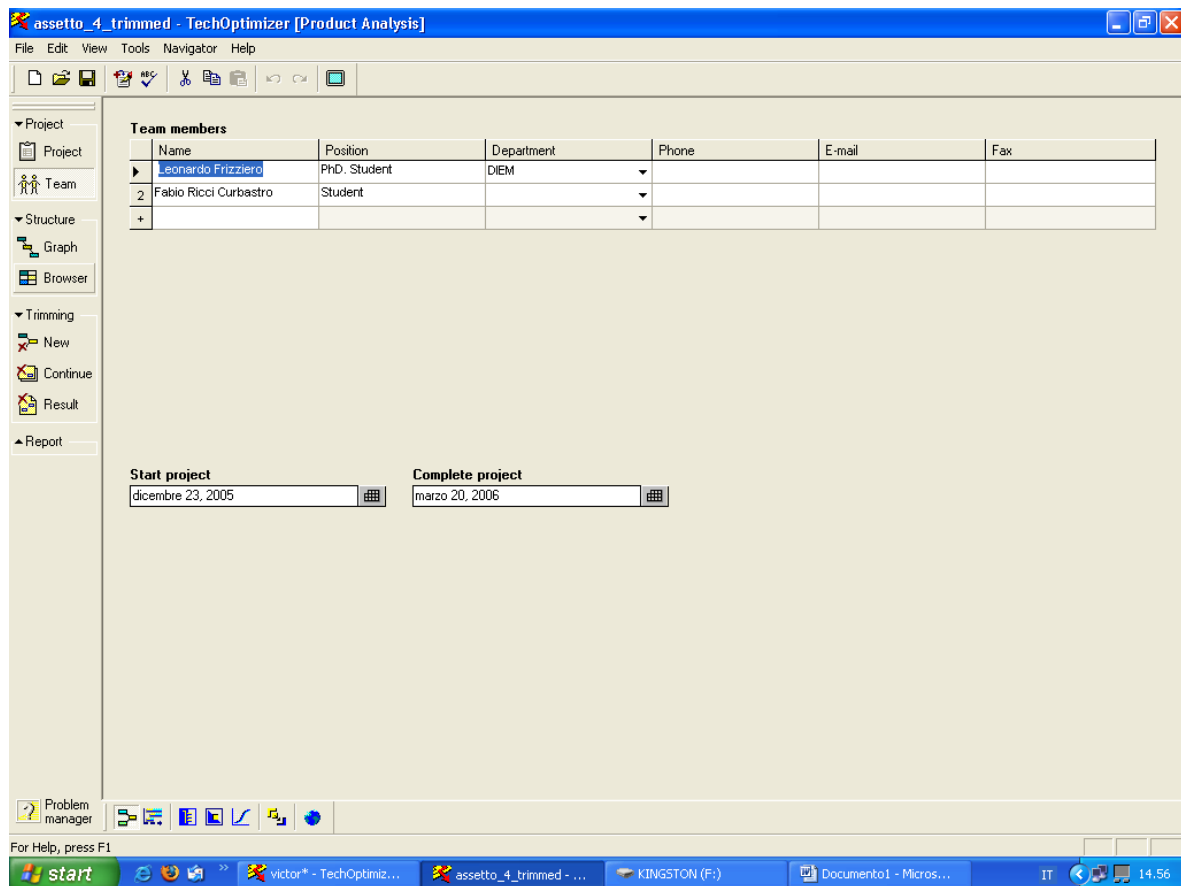
(Lista di controllo di Principi e Metodologie della Progettazione Meccanica)

Num	Parameter	Condition	Unit	Value
<b>1</b>	Affidabilità	Greater than		valvola normalmente chiusa
<b>2</b>	Assemblaggio	Not more		progetto per l'assemblaggio
<b>3</b>	Controllabilità e qualità	Greater than		materiali adeguati e taratura con strumenti di classe elevata
<b>4</b>	Costi	Between	€	possibilità di spendere per un risultato positivo
<b>5</b>	Ergonomia e proprietà formali	Not less	//	maneggevolezza a
<b>6</b>	Funzionalità	Not more		funzionamento completamente automatico

<b>7</b>	<b>Manutenzione</b>	<b>Less than</b>		<b>nessuna</b>
<b>8</b>	<b>Producibilità</b>	<b>Not more</b>		<b>progettazione per l'assemblaggio</b>
<b>9</b>	<b>Riciclaggio</b>	<b>Not less</b>		<b>uso di materiali riciclabili / eco- compatibili</b>
<b>10</b>	<b>Sicurezza</b>	<b>Not less</b>	<b>//</b>	<b>tenuta sempre garantita</b>
<b>11</b>	<b>Tempi</b>	<b>Less than</b>	<b>sec.</b>	<b>montaggio istantaneo</b>
<b>12</b>	<b>Trasporto</b>	<b>Greater than</b>		<b>dimensioni e peso contenuti</b>
<b>Vincoli</b>				

È opportuno notare che mentre nella tabella degli obiettivi viene espresso il peso relativo, l'importanza, nella tabella delle limitazioni viene inserito il risultato che si vuole ottenere.

Sempre in questo ambiente è possibile inserire dati relativi al gruppo di lavoro, informazioni utilizzate dal programma nel momento in cui vengono generate le varianti di soluzione. Questa videata diventa significativa quando i membri del gruppo di lavoro decidono di attribuire pesi e misure differenti ai vari parametri in gioco nel progetto. Il programma è in grado di gestire infatti la generazione di varianti di soluzione adattate alle specifiche imposte da ogni utente.

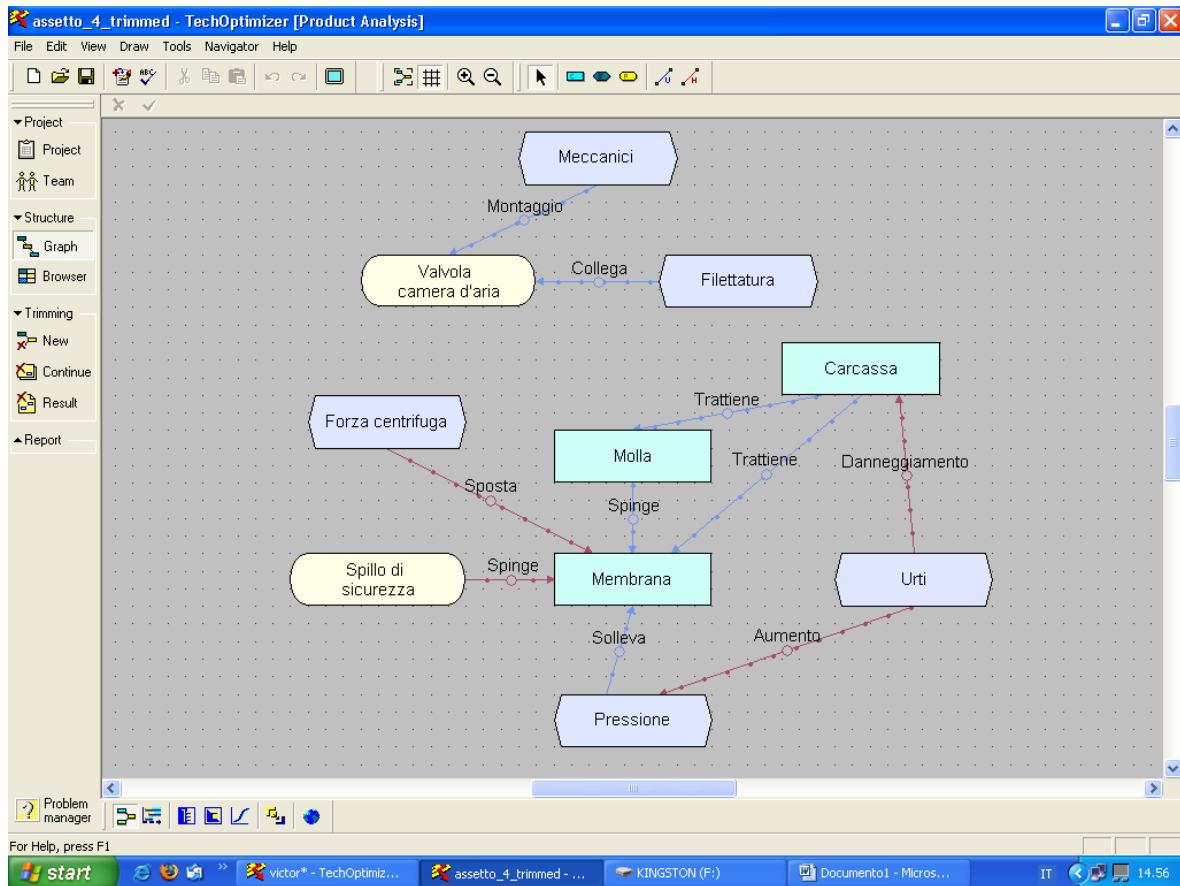


Schermata di programmazione progetto

Terminata questa fase introduttiva viene cominciata l'analisi funzionale del problema.

---0---

Il programma permette di costruire un grafico in cui vengono inserite tutte le relazioni che intercorrono tra i componenti, gli addetti, le forze in gioco e tutto quanto rientra in modo favorevole o contrario nel problema.

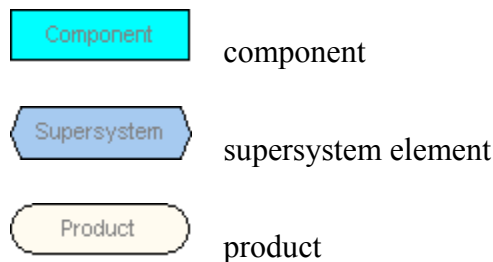


Analisi funzionale

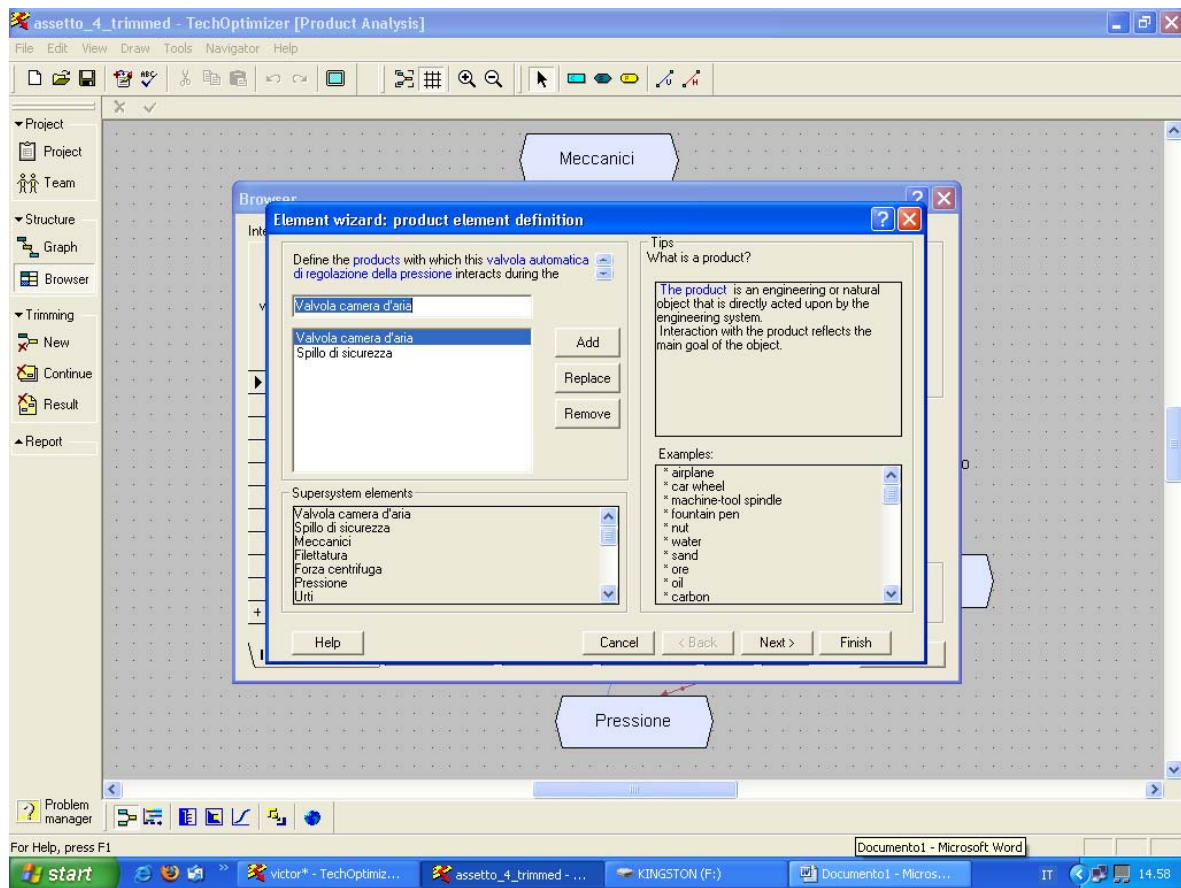
All'interno di questo ambiente è opportuno distinguere tre categorie di elementi:

1. **Prodotti:** rappresentano i risultati del lavoro
2. **Componenti:** sono gli elementi che costituiscono il prodotto
3. **Super-elementi:** sono quei fenomeni su cui non è possibile intervenire (es: la forza di gravità)

Graficamente hanno questo aspetto:



Tra queste categorie di elementi intercorrono relazioni che possono essere ovviamente positive o negative. Il programma, al fine di consentire una maggiore semplicità all'ingresso di tutte queste informazioni e dunque un'analisi più accurata al problema, è dotato di un "wizard" composto di varie schermate in cui l'utente risponde a domande specifiche riguardanti l'ambiente di lavoro del prodotto e dei vari fenomeni e personale che interagiscono con esso.

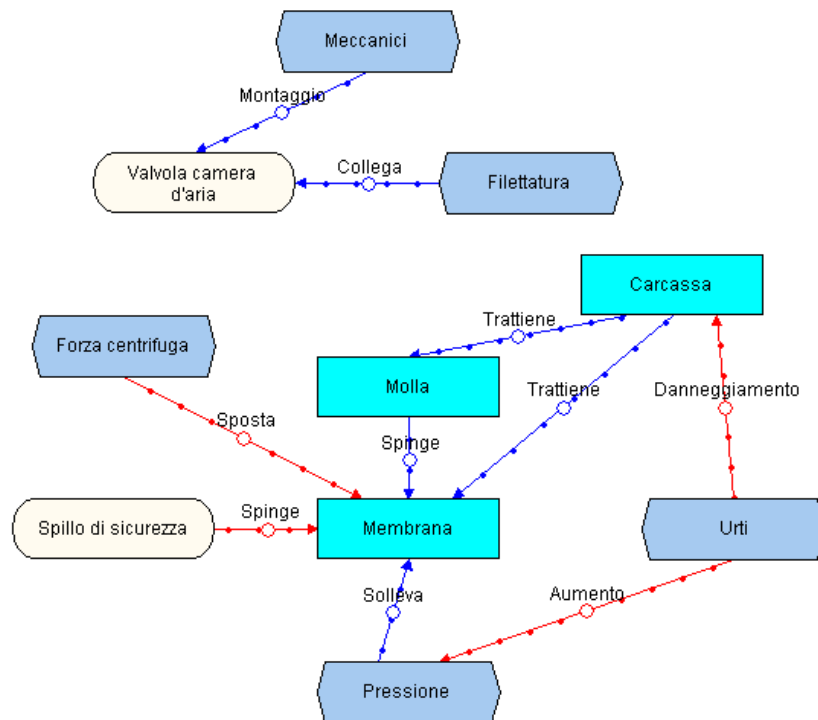


Wizard dell'analisi funzionale

Questa funzione si è dimostrata utilissima ed è stata sfruttata per la costituzione di vari esempi alternativi al progetto in corso.

---O---

Lo schema ottenuto con questo metodo è il seguente:



**Schema funzionale della valvola**

Come si può vedere questo schema è diviso in due parti, quella superiore, di carattere macroscopico, che si occupa della relazione valvola-meccanici, mentre quella inferiore, analitica, che si dedica alla costruzione della valvola. Si tratta pertanto di un'analisi funzionale su due livelli.

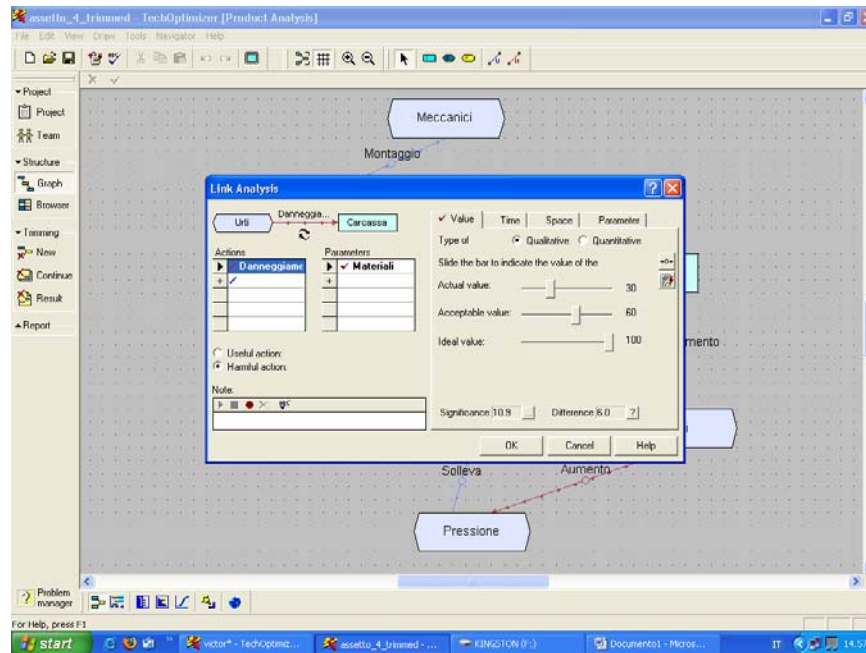
Si può anche osservare che nello schema non entrano i piloti dei veicoli. Questo è ovvio poiché la valvola che si intende progettare deve avere un funzionamento automatico, quindi fuori dal controllo degli addetti. Tra i componenti intercorrono relazioni. Le relazioni colorate di blu sono ovviamente quelle positive, desiderate, mentre le altre, rosse, sono quelle negative. Il passo successivo, una volta stabiliti tutti i legami consiste proprio nel definire le relazioni stesse e nel trasmettere al software informazioni riguardo all'azione stessa e l'influenza relativa sui parametri in esame.

*PE: la forza centrifuga "sposta" la membrana, cioè comporta un disturbo tale da compromettere la precisione del sistema. In questo caso il programma chiede alcune informazioni:*

- *Stato attuale del problema*
- *Condizione minima da raggiungere*
- *Risultato ottimale*

*Questi dati si possono inserire sia in maniera qualitativa che quantitativa, a seconda dei casi (qualitativa è più che sufficiente in questo momento).*

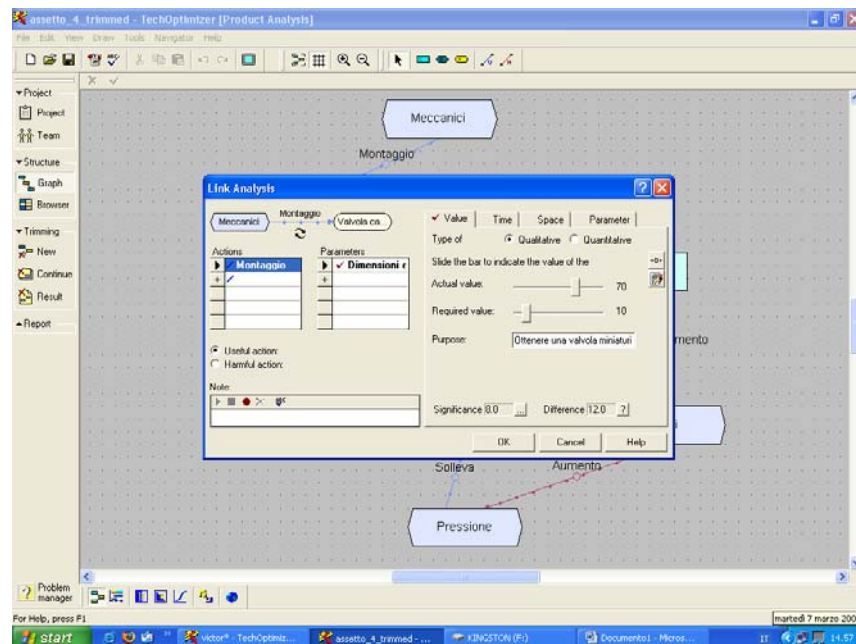




Schermata di definizione di un'azione negativa

Nel caso invece che si tratti di un'azione positiva, allora il programma richiede invece informazioni in merito a:

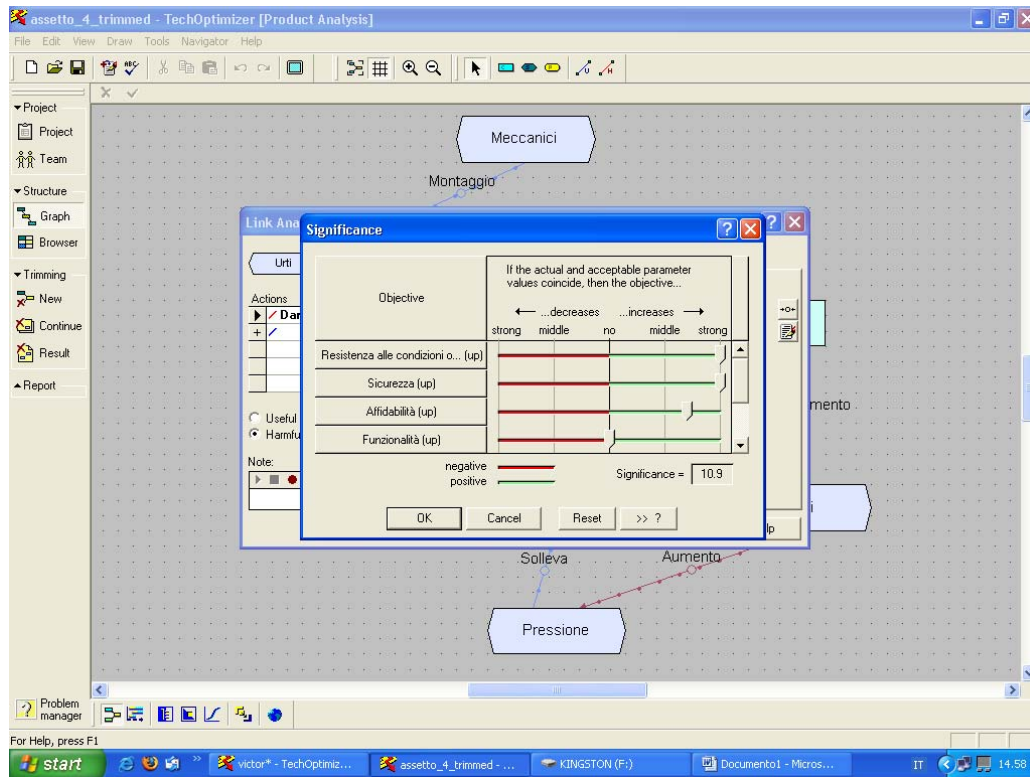
- Valore attuale
- Valore richiesto
- Scopo, obiettivo ultimo



Schermata di definizione di un'azione positiva

Ulteriore informazione da inserire è l'interazione di ogni azione coi parametri inseriti all'inizio: resistenza alle condizioni ostili, sicurezza ecc...

Nella schermata “significance” viene analizzato tutto questo in maniera semplice e diretta: il programma mostra una serie di barre di scorrimento, ognuna legata ad un parametro e chiede “se si raggiunge il risultato ottimale, cosa succede a ....”, successivamente basta indicare sulla barra se un parametro migliora o peggiora ed indicativamente, anche di quanto si ha beneficio o svantaggio.



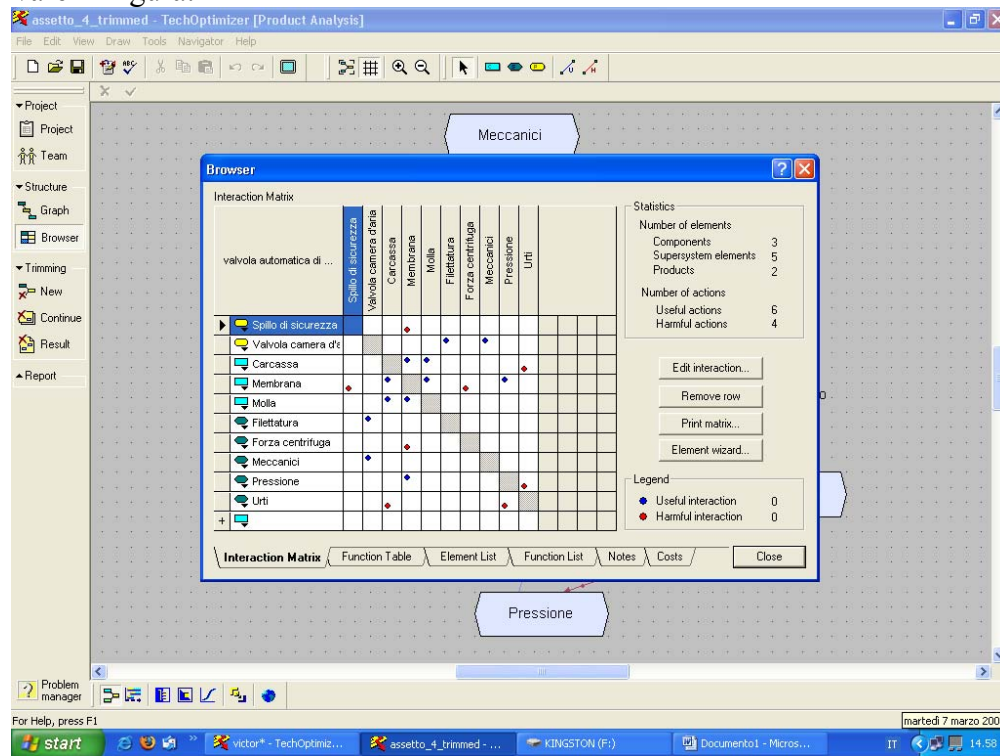
Schermata significance

L'analisi delle azioni positive è del tutto analoga.

All'interno del programma ogni operazione eseguita viene associata ad un coefficiente numerico che elaborato secondo un sistema di sommatorie e medie pesate, in maniera del tutto analoga a quello che si è fatto manualmente col QFD, consente di ottenere l'elenco di problemi ordinato per importanza, per gravità e per peso. In pratica, il programma mediante questi input ha stabilito una gerarchia di criticità che risolte di volta in volta sono in grado di portare al risultato.

---O---

In questo ambiente, il programma imposta l'analisi funzionale anche sotto forma di matrice, come è possibile osservare in figura:



**Browser dell'analisi funzionale**

#### 5.4.1.2 – Trimming col TechOptimizer

Passiamo a considerare una funzione importantissima del programma, usata in modo marginale in questo contesto grazie agli apporti del metodo QFD ma che comunque merita considerazione: il “trimming”.

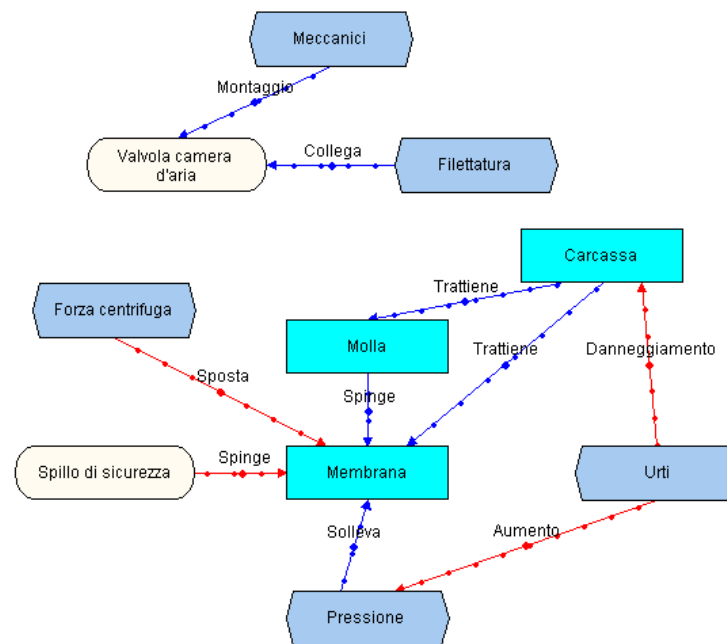
Questo strumento consente di “aggiustare” il problema in modo da eliminare componenti ed azioni negative dallo schema del problema.

Il software è stato progettato non per seguire il progetto dopo una chiarificazione del compito ma fin dall’inizio, quindi è in grado, data in input una situazione confusa, di semplificarla in modo da spingere i progettisti verso il raggiungimento di una soluzione ottimale.

Il trimming consiste in una procedura guidata, un altro “wizard”, che cerca di eliminare o cambiare le relazioni impostate chiedendo passo dopo passo all’utente se è possibile o meno operare con un determinato intervento. Ogni componente del sistema può essere oggetto del trimming, il programma seleziona automaticamente quello che reputa più significativo, tuttavia è possibile per l’utente scegliere ed organizzare l’operazione.

Questa funzione, all’interno del progetto in corso è stata svolta ma non ha portato particolari benefici poiché il problema era già stato ridotto e sintetizzato nello schema in maniera completamente esaustiva.

I risultati infatti sono stati:



**Risultato del Trimming**

*Lo schema funzionale è identico ed anche la tabella riassuntiva dei benefici dell’operazione indica che non ci sono state modifiche:*

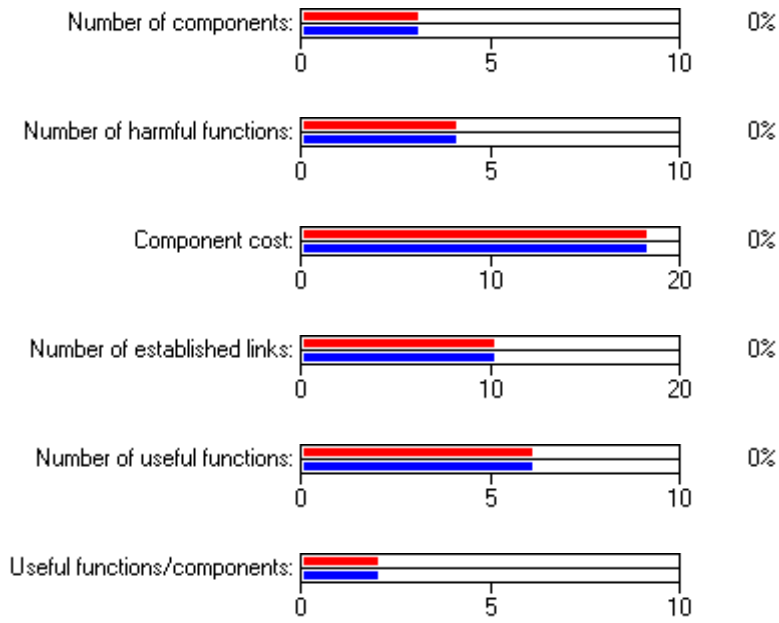
**Trimming Variant: Variant 6**

**Components trimmed : None**

**Components simplified : None**

**Functions transferred : 0**

**Harmful functions eliminated : 0**

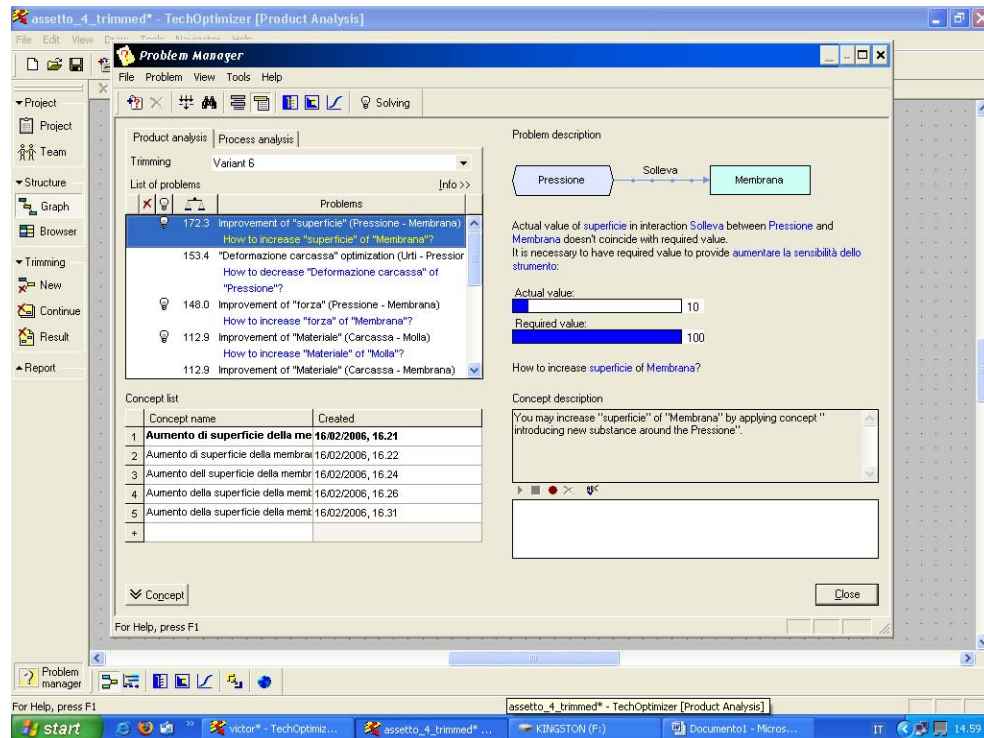


Questo risultato sta tuttavia ad indicare che la chiarificazione del compito svolta col QFD ha sortito i risultati giusti ed è stata oggetto delle giuste considerazioni.

### 5.4.1.3 – Problem Manager

In seguito all'impostazione dei parametri, delle relazioni positive o negative tra i componenti ecc... il programma è in grado di generare una lista di problemi a cui porre rimedio, ordinati in maniera cronologica oppure in funzione dell'importanza relativa. Questa lista potrà poi essere scorsa ed usata coi 40 principi del TRIZ per la costituzione della variante costruttiva.

La schermata problem manager ha questo aspetto:



**Problem manager**

Nel progetto in esame il risultato generato è stato il seguente:

### Problem list

**Problem significance - Trimming Variant: Variant 6**  
**Problem list Table**

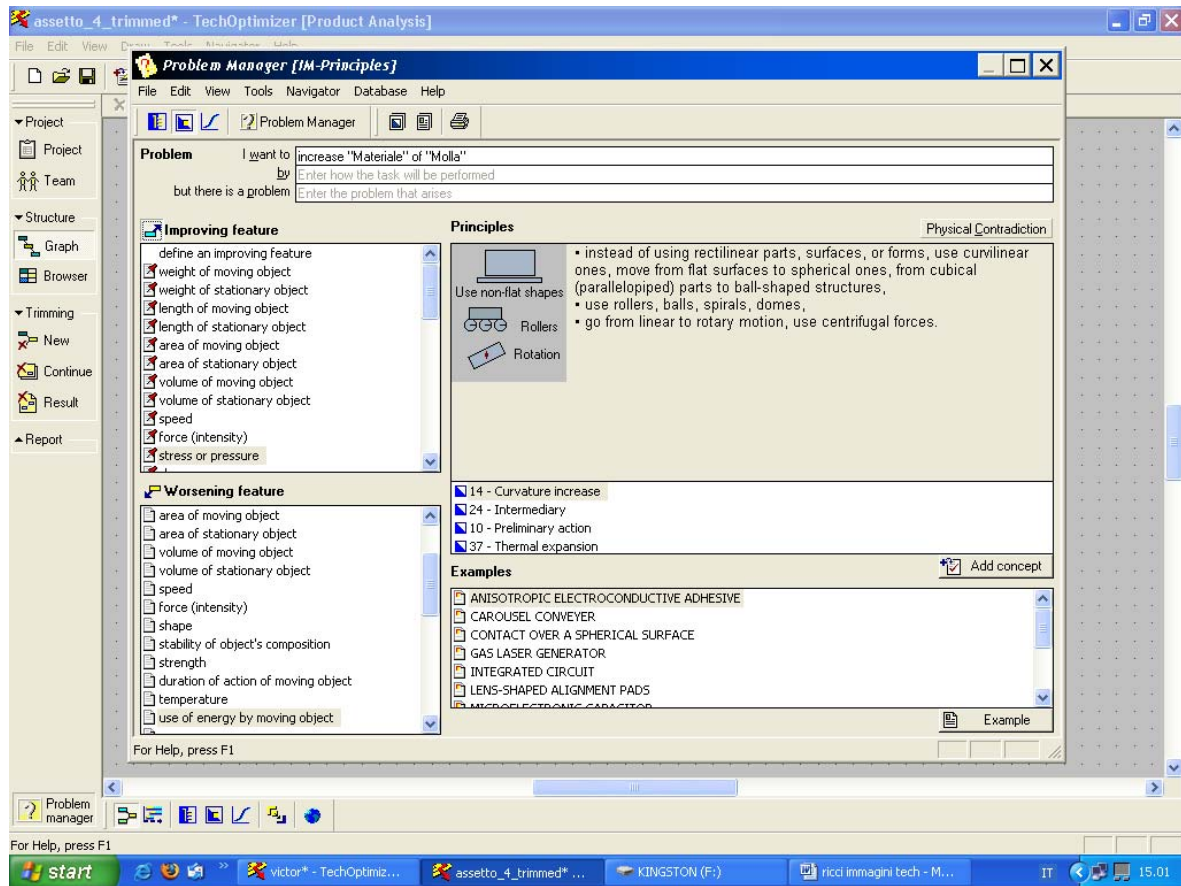
Numbe r	Significance	Name	Group
3.1	112.86	Improvement of "Materiale" (Carcassa - Molla)	Efficiency increase
3.2	42.34	Improvement of "Forza" (Molla - Membrana)	Efficiency increase
3.3	172.29	Improvement of "superficie" (Pressione - Membrana)	Efficiency increase

3.4	148.00	Improvement of "forza" (Pressione - Membrana)	Efficiency increase
3.5	112.86	Improvement of "Materiale" (Carcassa - Membrana)	Efficiency increase
3.6	96.00	Improvement of "Dimensioni esterne" (Meccanici - Valvola camera d'aria)	Efficiency increase
4.1	55.03	"Forza di disturbo" optimization (Spillo di sicurezza - Membrana)	Quality increase
4.2	81.71	"Forza di disturbo" optimization (Forza centrifuga - Membrana)	Quality increase
4.3	65.14	"Materiali" optimization (Urti - Carcassa)	Quality increase
4.4	153.40	"Deformazione carcassa" optimization (Urti - Pressione)	Quality increase

#### Criticità tecniche da risolvere

Ogni problema viene poi specificato nel dettaglio ed aperto nella schermata apposita: "problem solving". In questo ambiente l'utente provvede a confrontare il problema o la criticità con i 40 principi del TRIZ al fine di trovare una possibile soluzione.



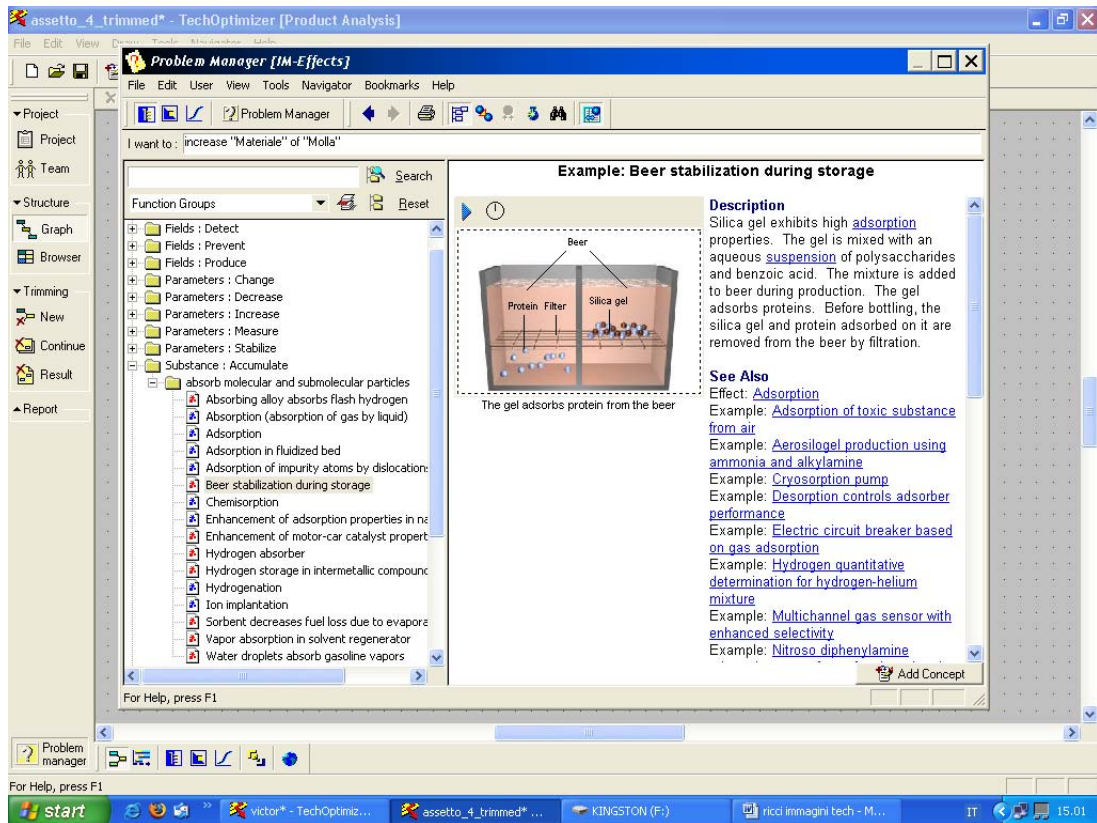


I 40 principi nel TechOptimizer

Nel momento in cui un principio appare applicabile al caso in esame, viene selezionato dall'utente ed aggiunto in una tabella chiamata "concept list" assieme ad eventuali note.

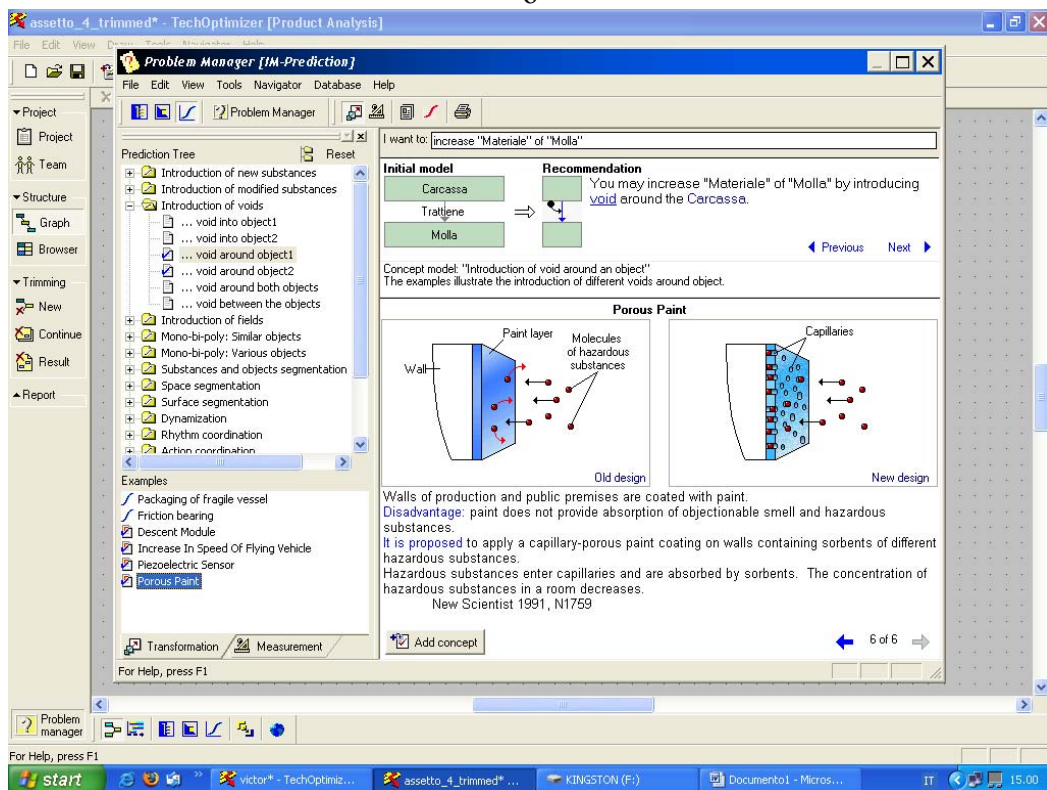
In alternativa ai principi il programma consente di accedere ad una banca dati di fenomeni fisici noti e catalogati.





## Fenomeni

---O---



## Consultazione della banca dati

Mano a mano che il lavoro viene svolto ad ogni problema viene associata la sua concept list, che costituisce il risultato finale dell'applicazione del programma.

Una volta noti i principi da mettere in atto nel corso del progetto il programma cessa la sua funzione.

Anche se non viene esplicitamente indicata e viene organizzata in maniera diversa, l'insieme delle "concept list" del TechOptimizer costituisce quella che era la matrice delle criticità prevista dal metodo TRIZ.

Si può notare, all'interno della tabella dei problemi, che la scelta dei materiali, "azione" più importante emersa dal metodo QFD non è prioritaria ma viene in seconda posizione, seguendo il metodo TRIZ, che come problematica principale mette l'ampliamento della superficie della membrana.

Questa differenza di risultato deriva indubbiamente dal diverso approccio al problema dei due metodi, approccio comunque valido, poiché in grado di identificare in maniera abbastanza precisa i fattori chiave di ogni sistema. In più, col TRIZ, sono emerse in maniera più evidente rispetto al QFD le problematiche legate alla miniaturizzazione del componente, quindi la forza della molla, la superficie della membrana ecc...

#### 5.4.1.4 - Varianti progettuali derivate dal TRIZ

Consideriamo i risultati ottenuti col secondo metodo di lavoro, applicato attraverso l'uso del software dedicato. Consideriamo dunque la tabella dei problemi ordinati secondo il parametro "significance", cioè l'importanza relativa di ognuno di essi sulla qualità del prodotto da realizzare.

Number	Significance	Name	Group
3.3	172.29	Improvement of "superficie" (Pressione - Membrana)	Efficiency increase
4.4	153.40	"Deformazione carcassa" optimization (Urti - Pressione)	Quality increase
3.4	148.00	Improvement of "forza" (Pressione - Membrana)	Efficiency increase
3.1	112.86	Improvement of "Materiale" (Carcassa - Molla)	Efficiency increase
3.5	112.86	Improvement of "Materiale" (Carcassa - Membrana)	Efficiency increase
3.6	96.00	Improvement of "Dimensioni esterne" (Meccanici - Valvola camera d'aria)	Efficiency increase
4.2	81.71	"Forza di disturbo" optimization (Forza centrifuga - Membrana)	Quality increase
4.3	65.14	"Materiali" optimization (Urti - Carcassa)	Quality increase
4.1	55.03	"Forza di disturbo" optimization (Spillo di sicurezza - Membrana)	Quality increase
3.2	42.34	Improvement of "Forza" (Molla - Membrana)	Efficiency increase

Criticità ordinate secondo gravità

Vediamo innanzitutto che il primo problema è l'aumento della superficie della membrana, questa criticità è stata risolta attraverso i seguenti effetti provenienti dalla banca dati del programma:

- ❖ introdurre nuova sostanza
- ❖ introdurre il vuoto

Il suggerimento si riferisce all'introduzione di un gradiente di pressione superiore a quello che intercorre tra la gomma e l'ambiente. In questo modo aumenterebbe la sensibilità del sistema e la semplicità di costruzione della molla.

Successivamente, il secondo problema legato alla forza di azionamento del dispositivo e corrispondente ad una significanza di 148, è stato risolto coi seguenti principi:

- ❖ 8, contrappeso
- ❖ 12, equipotenzialità
- ❖ 15, dinamicità
- ❖ 40, materiali compositi

Questo suggerimento è analogo al precedente, in pratica spinge la progettazione verso l'aumento della differenza di pressione, da ricercarsi in quanti più modi si conoscano.

Considerando ora i problemi legati al materiale di costruzione della valvola, sono stati applicati i seguenti principi:

- ❖ 1, segmentazione
- ❖ 11, ammortizzamento anticipato
- ❖ 14, sferoidalità
- ❖ 15, dinamicità
- ❖ 40, materiali compositi

In questo caso i principi non suggeriscono nessuna soluzione specifica. Trovandosi davanti ad informazioni di carattere molto vago, è stato deciso di progettare una valvola munita di una carcassa in due parti, in grado di assorbire eventuali deformazioni plastiche provenienti dagli urti. La forma cilindrica serve per ridurre i volumi ma anche per non offrire ad agenti esterni facce dove possono aver luogo urti.

La riduzione delle dimensioni esterne è stata realizzata attraverso:

- ❖ 1, segmentazione
- ❖ 2, estrazione
- ❖ 7, annidamento
- ❖ 15, dinamicità
- ❖ 35, trasformazione di un parametro fisico
- ❖ 40, materiali compositi

Questa lista consiglia di costruire la valvola in modo che tutti i meccanismi restino contenuti all'interno della carcassa, incorporando un numero di funzioni limitate in ogni componente (principio della separazione delle funzioni).

La forza centrifuga è stata contrastata mediante l'applicazione dei principi:

- ❖ 8, contrappeso
- ❖ 9, reazione preventiva
- ❖ 10, azione preventiva
- ❖ 11, ammortizzamento anticipato

- ❖ 12, equipotenzialità
- ❖ 35, trasformazione di un parametro fisico

In questo caso la forza centrifuga deve essere contrastata anticipandone alcune contromisure, come il peso dei componenti oppure una taratura specifica del dispositivo.

L'ultimo problema, che riguarda infine un'ottimizzazione ulteriore dei materiali di costruzione degli organi interni, è stato risolto coi principi:

- ❖ 3, qualità locale
- ❖ 10, azione preventiva
- ❖ 27, oggetto economico di breve durata
- ❖ 40, materiali compostivi

Per la valvola è chiaramente prevista una durata del tempo utile di una gara o poco più, quindi appare evidente che occorra effettuare un buon bilanciamento tra spesa per i componenti e qualità del prodotto.

Riassumendo il tutto in una tabella si ottiene:

Lista principi	
Grado di criticità del problema	Principi applicati
171,30	<i>introdurre vuoto</i>
148,00	8, 12, 15, 40
112,90	1, 11, 14, 15, 40
96,00	1, 2, 7, 15, 35, 40
81,70	8, 9, 10, 11, 12, 35
65,10	3, 10, 27, 40

Principi applicati

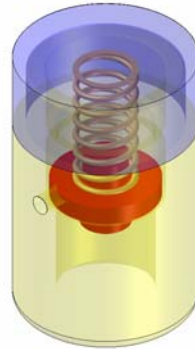
### 5.4.2 – Definizione di una proposta concettuale definitiva

Mettiamo ora in relazione le varianti ottenute al fine di stabilire quale debba venire progettata a livello costruttivo. Questa analisi verrà poi sfruttata per arricchire il confronto tra i metodi di lavoro.

#### 5.4.2.1 – V1 QFD

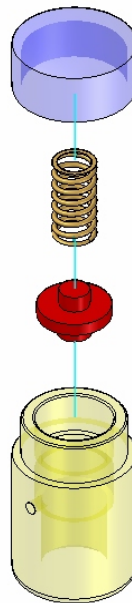
Prendiamo in esame entrambe le varianti di soluzione ottenute mediante l'applicazione dei due metodi di lavoro. Innanzitutto è bene precisare che nessuno dei due ha prodotto risultati incompatibili alle specifiche o scadenti da un punto di vista qualitativo, tuttavia i due dispositivi presentano notevoli differenze.

Analizziamo la valvola ricavata dalla matrice morfologica del QFD:



**V1 QFD**

Mettiamo anche in evidenza i vari componenti in una vista esplosa:



**Vista esplosa**

Descriviamo dunque i componenti della valvola:

Componente	Descrizione	Materiale
Otturatore	Sensore di pressione ed elemento	Tecnopolimero

	che effettua la tenuta.	(PEEK)
Coperchio superiore	Riscontro della molla. La superficie esterna è zigrinata per facilitare il montaggio manuale. Il collegamento al corpo della valvola è realizzato mediante filettatura.	Tecnopolimero (PEEK)
Molla	Elemento elastico di bilanciamento del sistema di forze.	Acciaio
Corpo valvola	In questo componente sono raccolte le funzioni di collegamento alla valvola della gomma e di scarico aria mediante un foro calibrato.	Tecnopolimero (PEEK)

## Descrizione V1 QFD

La corrispondente matrice morfologica è:

Matrice morfologica V1					
	Analisi funzionale/caratteristiche	Soluzione	Soluzione	Soluzione	Soluzione
1	Carcassa	Tecnopolimero	Lega alluminio	Lega magnesio	Acciaio
2	Molla/Sistema elastico	Elicoidale metallica	Elicoidale polimero	Polimero	
3	Membrana	Elastomero	Metallico		
4	Tenuta	Guarnizione	Accoppiamento di forma		
5	Collegamento	Filettatura	Inserimento a pressione		
6	Montaggio	Manuale	Con utensili		
7	Collegamento carcassa membrana	Incollaggio	Accoppiamento di forma		
8	Collegamento carcassa molla	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	
9	Collegamento molla membrana	Semplice	Incollaggio	Accoppiamento di forma	

## Matrice morfologica V1 QFD

Elenchiamo in una tabella le caratteristiche tecniche di questo prodotto:

Specifica tecnica	
<b>Dimensioni esterne</b>	cilindro H 24 mm D 14 mm
<b>Attacco alla valvola</b>	filettatura specifica
<b>Maneggevolezza</b>	cilindro zigrinato
<b>Peso</b>	pochi grammi
<b>Funzionamento</b>	apertura alle pressioni comprese tra 1.2 e 2.0 bar, con taratura effettuata in azienda a seconda del tipo di molla, carcassa sigillata
<b>Materiali</b>	tecnopolimero ( <b>peek</b> ), guarnizione in elastomero ( <b>shock 120</b> )
<b>Sistema di sicurezza</b>	Doppio sistema di sicurezza, <b>meccanico</b> e <b>fisico</b>

**Caratteristiche V1 QFD**

Il dispositivo consiste in una valvola di massima miniaturizzata. L'otturatore, rappresentato in rosso è l'elemento che effettua la tenuta (mediante guarnizione), tiene aperto lo spillo di sicurezza e si solleva nel momento in cui aumenta la pressione nella camera d'aria.

In questa soluzione non sono presenti innovazioni particolari riguardanti principi risolutivi o sfruttamento di fenomeni fisici alternativi.

La molla, che provvede a mantenere la condizione di equilibrio tra le forze in gioco, viene progettata in maniera tale che consenta al dispositivo una sensibilità sufficiente in modo da apprezzare variazioni di pressione entro il decimo di bar. È previsto l'ampliamento della gamma di pressioni.

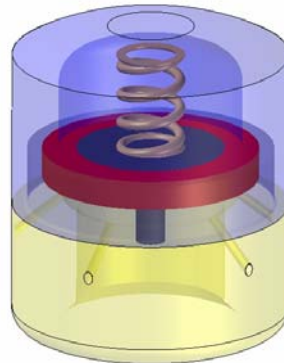
La sicurezza del sistema si basa contemporaneamente su un principio fisico ed uno meccanico:

- Il **principio meccanico** prevede che un sollevamento eccessivo dell'otturatore consenta allo spillo di sicurezza di richiudere la valvola.
- Il **principio fisico** invece riguarda le luci di scarico, di diametro insufficiente allo sfogo di un'onda di pressione corrispondente ad un picco.



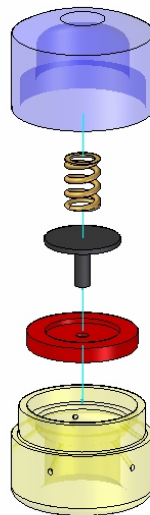
### 5.2.2 – Variante TRIZ

Passiamo ad esaminare la valvola realizzata col TRIZ:



**Variante TRIZ**

Mentre in una vista esplosa:



**Variante TRIZ**

Il dispositivo presenta alcune differenze rispetto al caso precedente, fin dal principio di funzionamento. In dettaglio:

Componente	Descrizione	Materiale
Membrana (rosso)	Sensore di pressione ed elemento che effettua la tenuta. Viene <b>deformata</b> dalla differenza di pressione.	Elastomero (shock 120)
Supporto molla (nero)	Rappresenta la struttura rigida della membrana. Indispensabile per localizzare la deformazione della stessa	Tecnopolimero (PEEK)

nei punti stabiliti.

Molla	Elemento elastico di bilanciamento del sistema di forze.	Acciaio
Coperchio superiore	Riscontro della molla con camera in <b>depressione</b> .	Tecnopolimero (PEEK)
Corpo valvola	In questo componente sono raccolte le funzioni di collegamento alla valvola della gomma e di scarico aria mediante una serie di fori calibrati.	Tecnopolimero (PEEK)

#### Descrizione variante TRIZ

La tabella delle specifiche è invece:

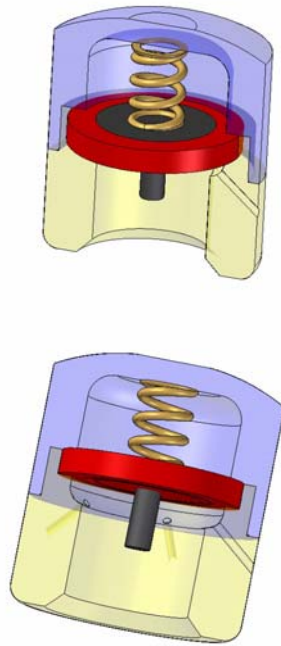
Specifica tecnica	
<b>Dimensioni esterne</b>	cilindro H 16 mm D 14 mm
<b>Attacco alla valvola</b>	filettatura specifica
<b>Maneggevolezza</b>	cilindro zigrinato
<b>Peso</b>	pochi grammi
<b>Funzionamento</b>	apertura alle pressioni comprese tra 1.2 e 2.0 bar, con taratura effettuata in azienda a seconda del tipo di molla e grado di vuoto, carcassa sigillata
<b>Materiali</b>	tecnopolimero ( <b>peek</b> ), membrana in elastomero ( <b>shock 120</b> )
<b>Sistema di sicurezza</b>	Doppio sistema di sicurezza, <b>meccanico e fisico</b>

#### Caratteristiche variante TRIZ

Possiamo notare immediatamente che questo dispositivo non contiene un otturatore dal funzionamento “tradizionale” ma una membrana deformabile che incorpora alcune funzioni:

1. tenuta nei confronti della valvola della gomma
2. tenuta nella camera in depressione superiore
3. sensore di pressione

In una vista “spaccata” è possibile osservare come questo componente venga supportato al centro affinché non venga deformato dalla molla e trattenuto ai lati:



**Spaccati della variante TRIZ**

Questa soluzione consente di mantenere all'interno della camera della molla un grado di vuoto sufficiente ad amplificare la forza esercitata dalla pressione nella camera d'aria. In questo modo si ha un aumento della sensibilità del sistema.

## 5.5 Progetto costruttivo

### 5.5.1 – Scelta delle soluzioni tecniche più adeguate

Giunti alla designazione di una variante concettuale definitiva è possibile mettere in pratica tutta una serie di strategie ed ottimizzazioni rivolte alla costruzione del dispositivo.

La variante da realizzare è quella proposta dal metodo TRIZ, che porta in sé un livello di innovazione superiore ed anche una serie di problematiche da risolvere prima della realizzazione di un prototipo.

Analizziamo in dettaglio tutti i componenti della valvola:

- **Membrana**
- **Supporto membrana**
- **Coperchio**
- **Attacco filettatura**
- **Molla**

Elencheremo poi per ognuno di questi tutta una serie di alternative rivolte alla produzione del prototipo e del prodotto di serie.

#### 5.5.1.1 – Membrana

La membrana è l'elemento più raffinato di tutto il dispositivo, poiché incorpora le funzioni di otturatore, tenuta, sensore pressione ecc...



**Membrana (sopra)**



**Membrana (sotto)**

Riassumiamo brevemente i dati tecnici di questo componente:

Caratteristiche	Dati
Dimensioni	D 11 mm Hmax 1,5 mm
Materiale	Elastomero (shock 120)

Peso

milligrammi

**Caratteristiche membrana**

Le caratteristiche di questo elemento fanno sì che l'unica tecnologia di produzione possibile rappresenti la fusione. La forma particolare serve infatti per restare intrappolata tra le due parti della carcassa della valvola e per appoggiarsi al supporto in grado di conferirle la rigidità necessaria a sopportare la spinta della molla.

L'incavo nella parte inferiore serve per aumentare la superficie di contatto con la valvola della gomma ed effettuare una tenuta migliore.

Visto l'uso limitato nel tempo non è previsto che questo componente lavori a fatica.

**5.5.1.2 – Supporto membrana**

Il supporto della membrana è un componente introdotto nella variante proposta dal TRIZ per aumentare la rigidità del sistema in corrispondenza del contatto con la valvola e con la molla. L'adozione di questa soluzione consente un maggiore controllo nei confronti di un sistema labile come un disco di elastomero. Nel dettaglio il supporto ha questa forma:

**Supporto membrana (sopra)****Supporto membrana (sotto)**

Riassumiamo in una tabella le sue caratteristiche:

Caratteristiche	Dati
Dimensioni	D 7,5 mm Hmax 5,5 mm
Materiale	Tecnopolimero (PEEK)
Peso	milligrammi

### Caratteristiche supporto membrana

La sua forma particolare deriva da una seconda funzione: lo spinotto deve spingere ed aprire lo spillo di sicurezza della valvola delle gomme.

Anche questo componente può venire ricavato da una fusione, la tecnologia più indicata sarebbe la stessa in grado di produrre giocattoli ed altro materiale plastico di dimensioni ridotte, pertanto è indispensabile che questo prodotto possa venire realizzato in grandi lotti.

#### 5.5.1.3 – Coperchio

Il coperchio rappresenta la parte esterna superiore della valvola.



**Coperchio (sopra)**



**Coperchio (sotto)**

Le sue caratteristiche sono:

Caratteristiche	Dati
Dimensioni	D 14 mm Hmax 9,5 mm
Materiale	Tecnopolimero (PEEK)
Peso	milligrammi

#### Caratteristiche coperchio

La funzione di questo componente è quella di contenere la camera in depressione e fornire alla valvola la resistenza ad urti ed a varie sollecitazioni. È previsto che venga realizzata anch'essa per fusione. Il collegamento alla sua controparte avviene mediante una filettatura a passo fine.

Il riscontro della membrana viene poi incollato al fine di garantire una maggior precisione di deformazione ed una migliore tenuta.

Non è previsto in alcun caso lo smontaggio della valvola una volta assemblata.

#### 5.5.1.4 – Attacco filettatura

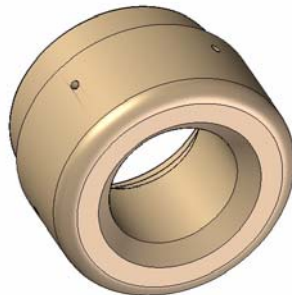
Passiamo ora a considerare l'ultimo componente progettato della valvola, che assolve le funzioni di collegamento con la gomma del kart.



**Base/Attacco filettatura (sopra)**



**Base/Attacco filettatura (particolare superiore)**



**Base/Attacco filettatura (sotto)**

Le sue caratteristiche sono:

Caratteristiche

Dati

Dimensioni

D 14 mm Hmax 9,5 mm

Materiale

Tecnopolimero (PEEK)

Peso

milligrammi

**Caratteristiche Base/Attacco filettatura**

In questo componente è prevista una doppia filettatura, quella interna di collegamento alla valvola e quella esterna a passo fine per il montaggio col coperchio. Viene realizzato sempre per fusione, filettature comprese, come per gli altri componenti. Potendo adottare questa tecnologia è possibile costruire pertanto uno stampo in grado di fondere una serie elevata di elementi che una macchina automatica provvederà a separare ed assemblare.



### 5.5.1.5 – Molla

La molla potrebbe essere l'unico componente commerciale del progetto, oppure può essere commissionata ad una ditta specializzata in grado di maneggiare componenti così piccoli con grandi precisioni.



**Molla**

Le sue caratteristiche sono:

Caratteristiche	Dati
Dimensioni	D 4,5 mm Hmax 3,5 mm
Materiale	Filo di acciaio al carbonio
Peso	Milligrammi

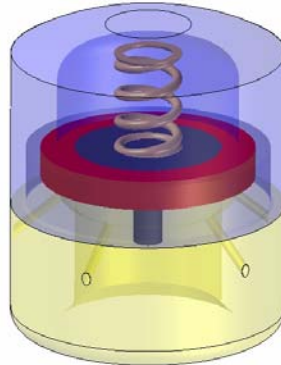
#### **Caratteristiche molla**

La molla viene ricavata dall'incrudimento di un filo di acciaio al carbonio, dalle caratteristiche concordate con l'azienda produttrice. Viste le dimensioni ridottissime dell'oggetto e le caratteristiche meccaniche così variabili che questo materiale può presentare in funzione del lotto di fornitura andrà stabilito un intervallo di validità tra dimensioni, forza esercitata ecc.

Per questo motivo adottare un sistema di taratura appare indispensabile, al fine di garantire il raggiungimento delle prestazioni adeguate alle esigenze del cliente.

### 5.5.2 – Descrizione funzionamento

Consideriamo a questo punto il funzionamento della valvola. Il principio è lo stesso di tutte le altre soluzioni già esaminate in precedenza e disponibili sul mercato, quindi la pressione eccessiva deforma l'otturatore (membrana) e si procura una via d'uscita verso l'ambiente esterno, tuttavia nel caso in esame la condizione di equilibrio viene realizzata con un numero superiore di componenti.

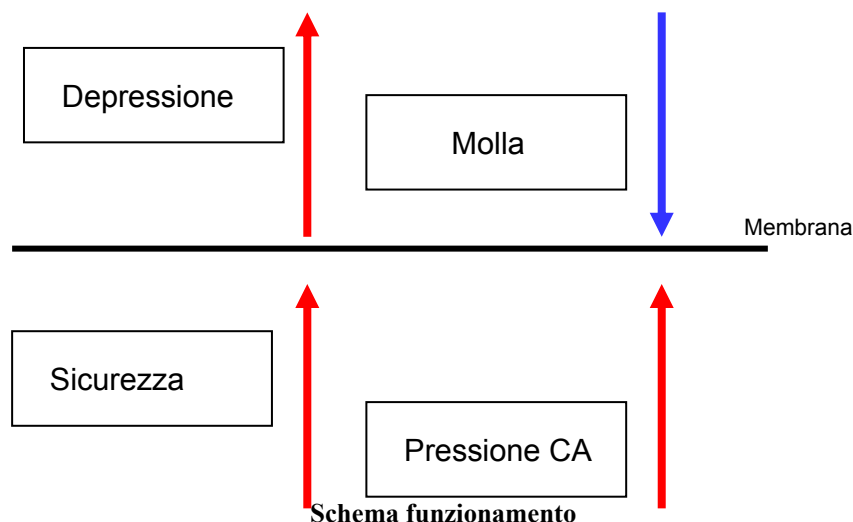


Valvola

Nel progetto realizzato infatti sono presenti più forze in gioco:

- *Pressione della camera d'aria*
- *Depressione della camera a "vuoto"*
- *Forza della molla*
- *Forza dello spillo*
- *Pressione ambiente*

La progettazione costruttiva dell'oggetto dovrà realizzare un equilibrio prendendo in considerazione tutto questo. Vediamo in uno schema che rappresenta le forze in gioco con i relativi versi di applicazione.



La molla rappresenta l'unica componente di forza diretta verso il basso mentre ogni altra componente cerca di sollevare la membrana e permettere lo sfiato dell'aria. Anche la forza della chiusura di sicurezza, governata da una molla e non dal principio di autorinforzo, interviene nell'equilibrio e deve pertanto essere misurata con precisione.

Le equazioni dell'equilibrio saranno indicativamente:

1.  $F_k = F_m + F_p$
2.  $F_p = \Delta s \cdot K_p = S_p \cdot p_g$

Unendo questi due risultati ottengo

$$K \cdot \Delta s = p_2 \cdot S_m - \Delta s \cdot K_p + S_p \cdot p_g$$

Questi simboli rappresentano:

$K$  : costante elastica della molla

$\Delta s$  : spostamento della membrana (sotto forma di deformazione)

$p_2$  : depressione della camera "a vuoto"

$S_m$  : superficie utile della membrana

$K_p$  : costante elastica dello spillo di sicurezza

$p_g$  : pressione della camera d'aria

Le variabili in questo sistema sono la costante della molla e la depressione della camera. A seconda della fornitura delle molle e della taratura è possibile dunque ottenere la condizione di equilibrio desiderata, quindi l'apertura ad una pressione stabilita.

## 5.6 Ottimizzazioni di Progetto

In questo paragrafo prenderemo in esame una serie di operazioni rivolte al miglioramento del progetto non solo in funzione delle esigenze del cliente ma anche delle necessità produttive, necessità di trasporto ecc. Verrà poi svolto anche un confronto tra il risultato ottenuto una volta terminato il lavoro di ottimizzazione con la variante proposta direttamente dal metodo, al fine di verificare quali e quante modifiche si siano rese necessarie e soprattutto quanto la variante di soluzione si prestasse all'apporto di modifiche senza richiedere una completa riprogettazione. È auspicabile che un buon metodo di progetto:

1. ***Riduca il lavoro di ottimizzazione, proponendo una soluzione adeguata***
2. ***Favorisca l'introduzione di modifiche e miglioramenti.***

Le ottimizzazioni che si intendono applicare al progetto sono:

- ***Design for assembly***
- ***Design for manufacturing***
- ***Robust design***

In seguito verrà svolta anche una preventiva analisi dei costi, poiché anche nei casi in cui il budget a disposizione non imponga pesanti limitazioni è buona regola non eccedere in investimenti senza significato.

### 5.6.1 – Design for assembly

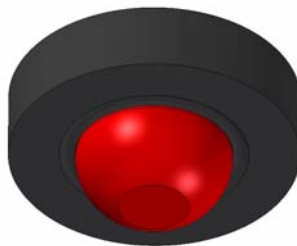
Il design for assembly consiste nell'ottimizzazione dei componenti cercando di ridurre il numero al minimo. Eliminare componenti dal progetto rappresenta un vantaggio perché:

1. ***si risparmia sui costi di produzione***
2. ***si risparmia sui costi e sui tempi di montaggio.***

Se, anche presi singolarmente, alcuni elementi diventano più complicati poiché devono incorporare funzioni diverse il risparmio ottenuto eliminando dal progetto anche un solo componente è comunque notevole.

In questo caso, la variante proposta e vista nel capitolo precedente è quella che ha già visto applicate tutte le ottimizzazioni, quindi in questo momento verranno visionate le varie proposte precedenti che rispondevano semplicemente alle specifiche imposte senza preoccupazioni dal punto di vista della produzione commerciale del dispositivo.

In una delle prime stesure, la valvola presentava un numero di componenti eccessivo, poiché collegato alla membrana deformabile era stato previsto un tappo specifico destinato alla tenuta della valvola.



**Membrana con otturatore specifico**

Riguardo alla specifica, entrambe le soluzioni sono equivalenti, poiché viene assolta la funzione di tenuta, tuttavia l'aggiunta di questo componente rappresentava una complicazione notevole dal punto di vista costruttivo e di assemblaggio, dovendo manipolare elementi di dimensioni estremamente ridotte e praticamente privi di peso.

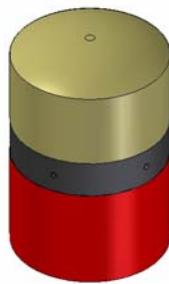
In questo caso il design for assembly ha previsto ad eliminare questo componente inglobando nella membrana anche tutte le funzioni di tenuta.

Con questo procedimento la membrana è chiamata a ricoprire una funzione supplementare di tenuta, onere che tuttavia non ha comportato eccessive modifiche poiché il materiale stesso della molla già si prestava alle operazioni di tenuta e non ha peggiorato le condizioni di lavoro di deformazione della membrana.

Anche il supporto della membrana è stato modificato in seguito alla riduzione del numero dei componenti, poiché l'otturatore assolveva anche la funzione di schiacciare lo spillo della valvola, operazione che è stata affidata allo spinotto del supporto.

Un ulteriore miglioramento riguarda lo scarico dell'aria in eccesso. Nella variante presentata questa operazione è stata effettuata forando l'attacco della valvola, tuttavia era previsto all'origine un elemento intermedio, anch'esso facente parte della carcassa.

In figura:



**Carcassa con tre elementi**

Anche in questo caso l'ottimizzazione è stata rivolta al miglioramento delle condizioni di assemblaggio, in quanto riguardo alle specifiche anche questa alternativa è valida e funzionale.

In conclusione, l'operazione di design for assembly ha portato alla riduzione di ben due componenti su sei nella valvola da progettare. Questo risultato rappresenta un vantaggio importantissimo dal punto di vista della produzione, poiché risparmia la costruzione di ben due stampi e consente l'acquisto di una macchina di assemblaggio decisamente più semplice quindi più economica.

---0---

### 5.6.2 Design for manufacturing

Il design for manufacturing rappresenta la seconda ottimizzazione applicata nel corso del lavoro, consiste nel progettare i componenti in modo tale da facilitare le operazioni di montaggio.

È bene precisare che un oggetto dello stesso tipo del dispositivo in esame non è pensabile che venga assemblato in maniera manuale dal personale di un'azienda. È pertanto indispensabile progettare i componenti in vista di un montaggio automatizzato.

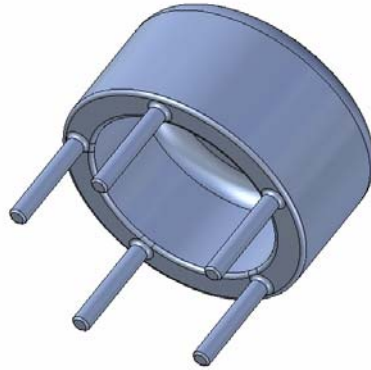
Al momento lo stato dell'arte delle macchine automatiche è molto evoluto quindi è possibile osservare robot in grado di assolvere a tantissime funzioni di montaggio ed in grado di lavorare con componenti di vari pesi e dimensioni e con caratteristiche specifiche, tuttavia una buona progettazione dal punto di vista

dell'assemblaggio consente un altro notevole risparmio di tempo e di denaro, senza contare poi anche il miglioramento della qualità del prodotto.

In questo progetto, il design for manufacturing è intervenuto innanzitutto ottimizzando il collegamento relativo tra le parti della carcassa.

Nella variante definitiva progettata e presentata è previsto un collegamento tra il coperchio e la base mediante una filettatura a passo fine, mentre nelle soluzioni precedenti l'unione delle parti di carcassa era realizzata in maniera differente.

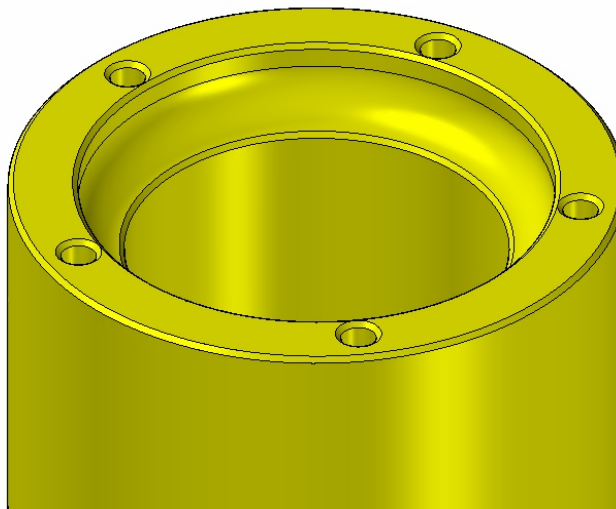
Come è possibile osservare, era stato progettato un collegamento permanente mediante spinotti del coperchio, spinotti che venivano inseriti per interferenza in cave nella base della valvola.



**Coperchio con spinotti**

Da un punto di vista del collegamento, la soluzione adottata era in grado di soddisfare le specifiche, poiché garantiva una buona resistenza assiale ed anche riguardo alla tenuta, tuttavia comportava delle notevoli complicazioni in fase di montaggio.

Allineare infatti gli spilli con i corrispondenti fori sarebbe stata un'operazione complicatissima e faticosa sia da realizzare con una macchina sia con del personale, poiché è bene ricordare i diametri minimi di questi componenti.



**Figura 7.4 – Base con fori di collegamento**

Nonostante l'attacco della filettatura appaia di forma più semplice, la soluzione adottata è quella decisamente più conveniente. In questo caso infatti anche ammesso un perfetto allineamento tra gli elementi, l'applicazione della forza di montaggio può portare alla rottura o al danneggiamento di anche solo uno degli spinotti, eventualità che comporterebbe la perdita di tutta una valvola.

Inoltre il collegamento mediante spinotti è estremamente fragile da un punto di vista delle sollecitazioni taglienti che possono raggiungere la valvola. Prima tra tutte quella di serraggio sulla ruota. Un meccanico potrebbe spezzare in due la valvola se solo applicasse una forza eccessiva concentrata esclusivamente sul coperchio.

Il collegamento mediante filettatura è stato pertanto preferito di gran lunga, nonostante complicasse il modello dei componenti.

Riguardo al montaggio dei componenti filettati le soluzioni adottabili sono numerose. In particolare si vuole segnalare la possibilità di usare robot SCARA a 4 assi, in grado di manipolare oggetti di qualsiasi dimensione, soprattutto miniaturizzati, e sfruttarne dunque il 4° asse di rotazione per compiere l'avvitamento.

Ulteriore accorgimento adottato in funzione del montaggio automatizzato dei componenti riguarda il posizionamento relativo tra molla e coperchio. Viste le dimensioni minime della molla, è evidente che non sia necessario alcun "guidamolla" poichè non sussistono le condizioni che portano all'instabilità questo componente meccanico, tuttavia, per assicurare un buon posizionamento relativo il coperchio è stato munito di un profilo particolare, affinché la molla possa incastrarsi e restare in posizione durante l'assemblaggio.



**Coperchio senza riferimento**



**Coperchio definitivo**

La modifica è minima, tuttavia comporta un miglioramento notevole delle condizioni di montaggio poiché la molla guadagna un riferimento su cui essere posizionata e fissata.

---0---

### 5.6.3 – Progetto robusto

Il progetto robusto si rivolge a tutti quei prodotti che andranno ad operare all'interno di condizioni particolarmente difficili oppure maneggiati da personale non qualificato. Questo genere di ottimizzazione consente al prodotto di mantenere sempre una configurazione stabile in esercizio cioè resistere ad una serie di circostanze avverse anche non previste in fase di progetto.

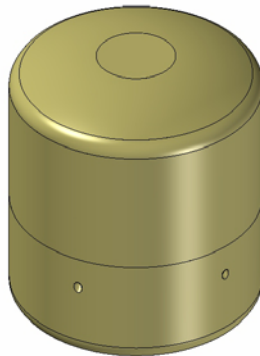
In merito a queste considerazioni la valvola è stata progettata tenendo conto della possibilità di urti e sollecitazioni provenienti non direttamente dalla pressione della camera d'aria ma anche dall'esterno, attraverso il contatto tra veicoli, uscite di pista ecc...

Entrambi i metodi hanno messo in evidenza la necessità di ottimizzare al meglio il materiale di costruzione della carcassa della valvola ed in base alle dovute osservazioni è stato scelto il tecnopolimero.

Questo materiale oltre ad essere estremamente leggero è in grado anche di resistere a notevoli sollecitazioni meccaniche quindi appare come il materiale più adatto alla costruzione della valvola.

Nell'impossibilità di prevedere l'entità dei carichi dovuti a varie circostanze esterne al funzionamento del dispositivo, il progetto ha deciso di sviluppare una valvola completamente chiusa all'interno di un esoscheletro.

A differenza di tante soluzioni presenti sul mercato, dotate di molle ed altri componenti in vista, la valvola progettata appare dall'esterno come un comune tappo.



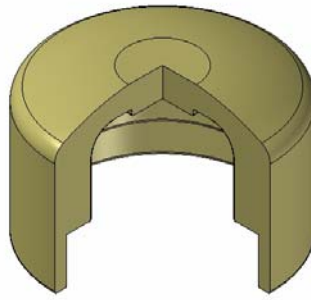
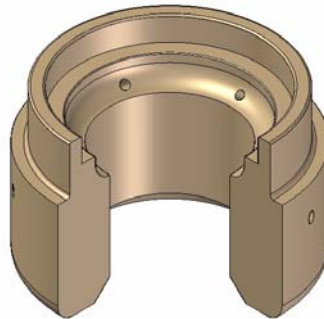
**Valvola**

L'unica differenza che la contraddistingue è la presenza dei fori di sfiato all'esterno dell'attacco alla filettatura della gomma.

È stato deciso poi di non adottare un unico foro di sfiato per scongiurare la possibilità di un'otturazione.

Le pareti della valvola infine sono volutamente molto spesse per conferire alla struttura una naturale rigidità ed una resistenza agli urti con sassi ed altre particelle che si possono incontrare in una pista di kart.



**Sezione del coperchio****Sezione dell'attacco filettatura**

---0---

#### ***5.6.4 Analisi dei costi***

Come accennato all'inizio del lavoro, il budget relativo al progetto è tale per cui è stato possibile progettare un componente dal costo unitario anche abbastanza elevato, viste le possibilità economiche dei potenziali acquirenti del prodotto.

È bene tuttavia ricorrere ad una serie di ottimizzazioni non solo rivolte ad ottenere un miglioramento qualitativo generale del prodotto ma anche relative ad un risparmio di carattere monetario.

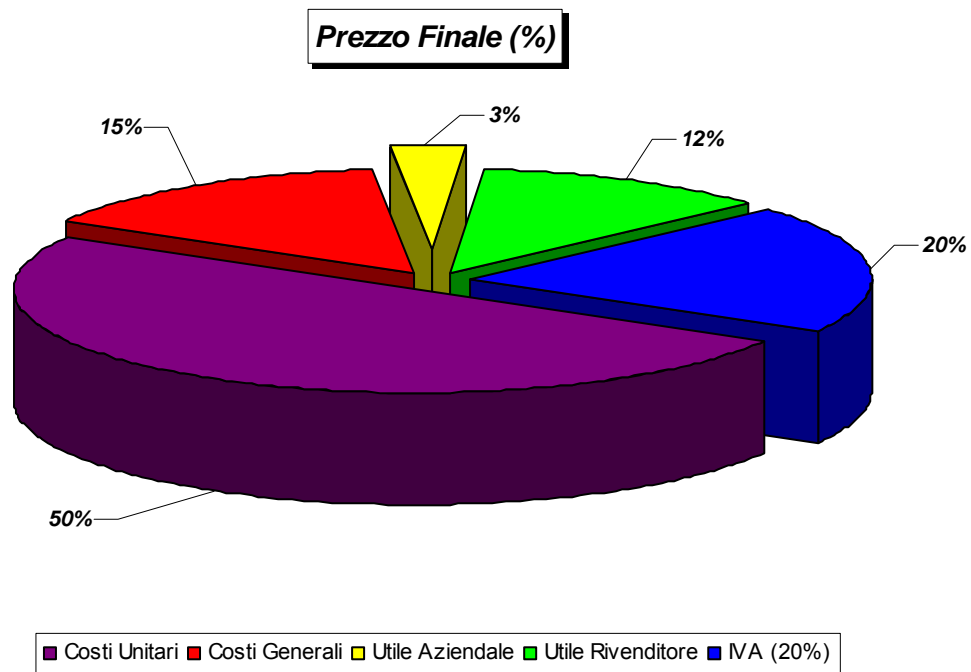
Innanzitutto è bene distinguere la natura dei costi che interessano questo progetto, dopodiché sarà possibile ricercare quale strategia sia più adeguata da adottare.

<b><math>A=B+C+UA+UR+IVA</math></b>	
<b>Prezzo Finale (%)</b>	
<b>Costi Unitari</b>	<b>50</b>
Costi Generali	15
Utile Aziendale	3
Utile Rivenditore	12
IVA (20%)	20

**Prezzo finale**

Il prezzo finale del prodotto viene ripartito in percentuale tra costi unitari, generali ed i vari utili che deve fornire, al netto delle tasse.

In un grafico possiamo vedere che:



**Prezzo finale**

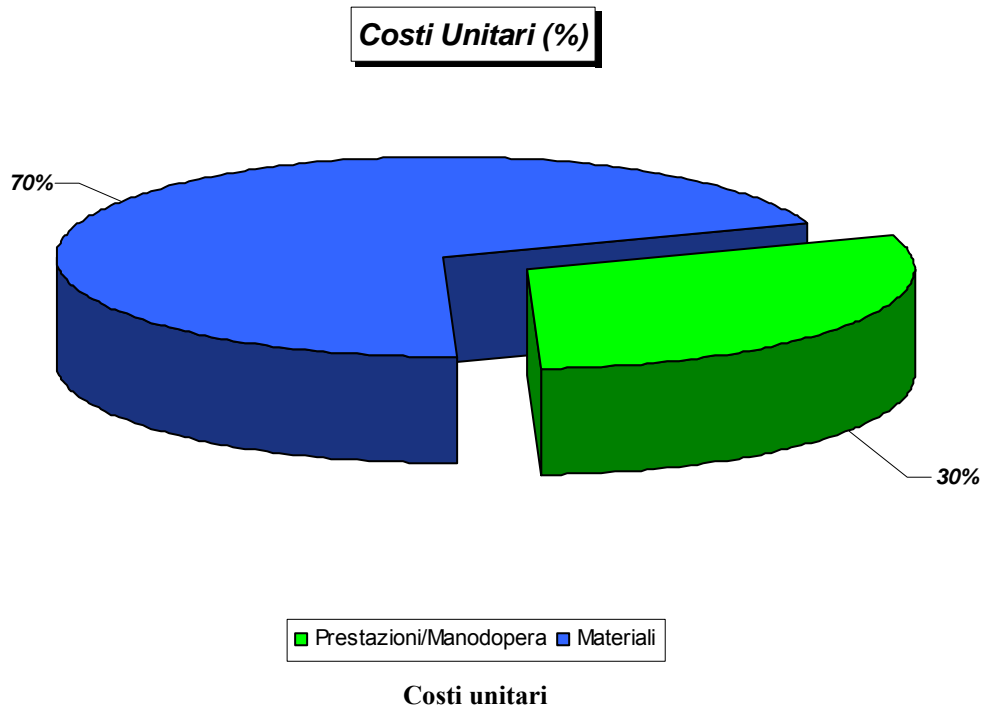
I costi unitari rappresentano la componente prevalente rispetto a tutte le altre, quindi, nel nostro caso sarebbe ottimale ridurli il più possibile.

Analizzando nel dettaglio la voce dei costi unitari, vediamo che sono ripartiti in:



<b>B</b>	
<b>Costi Unitari (%)</b>	
Prestazioni/Manodopera	30
<b>Materiali</b>	<b>70</b>

Costi unitari



Pertanto, la “leva” su cui dobbiamo agire per ridurre il prezzo del prodotto passa attraverso la corretta selezione dei materiali. I tecnopolimeri infatti, pur offrendo prestazioni decisamente competitive rispetto a molte altre alternative richiedono una spesa superiore.

Il materiale specifico, la composizione e l’eventuale arricchimento andranno dunque decisi e stabiliti attraverso una apposita matrice decisionale.

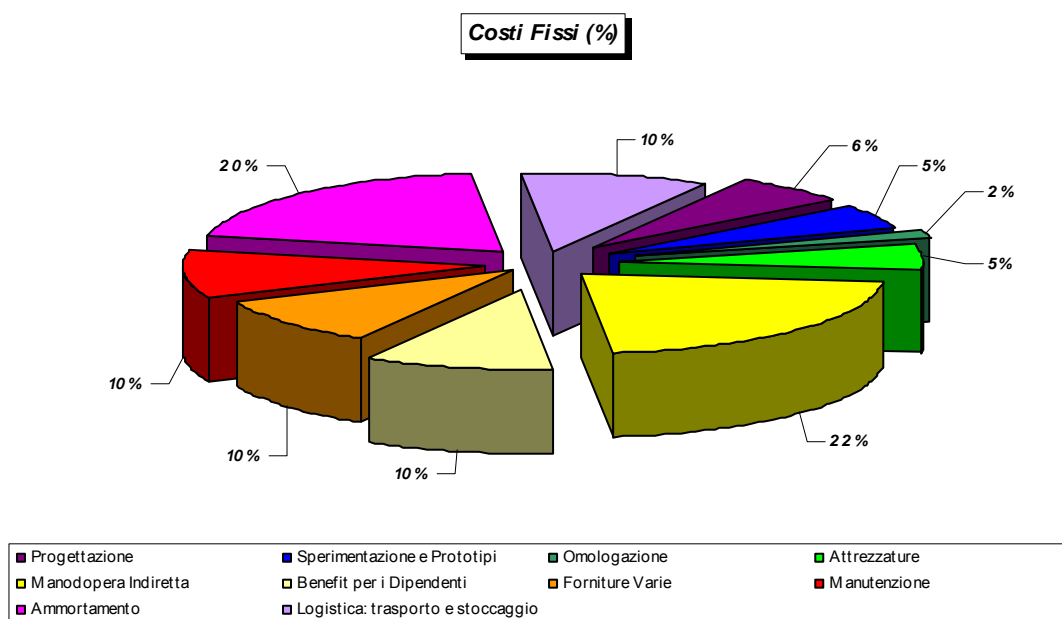
Sotto la voce prestazioni/manodopera rientrano tutti quei costi di assemblaggio e taratura già ottimizzati attraverso l’adozione delle filosofie design for assembling e for manufacturing, pertanto difficilmente migliorabili.

Consideriamo infine la voce dei costi fissi:

C	
Costi Fissi (%)	
Progettazione	6
Sperimentazione e Prototipi	5
Omologazione	2
Attrezzature	5
Manodopera Indiretta	22
Benefit per i Dipendenti	10
Forniture Varie	10
Manutenzione	10
Ammortamento	20
Logistica: trasporto e stoccaggio	10

Costi fissi

In grafico:



Costi fissi

Osserviamo che tra le voci dei costi fissi, manodopera ed ammortamento delle attrezzature rappresentano le componenti prevalenti. In questo caso le scelte da adottare in fase di produzione riguardano soprattutto il genere dei macchinari impiegati nella produzione e la qualificazione del personale che effettua la taratura ed il controllo dei dispositivi, sono queste infatti le categorie sulle quali puntare per avere un risparmio economico nella produzione delle valvole.

## 5.7 Conclusioni del confronto tra i metodi e del progetto campione

### 5.7.1 - Conclusioni del confronto tra i metodi

Gli obiettivi del presente capitolo, già esplicitati nei paragrafi introduttivi, erano sinteticamente:

- Approfondire le metodologie di progettazione già conosciute, in particolare il QFD;
- Studiare il nuovo metodo di progettazione TRIZ in un primo momento a livello teorico;
- Applicare in seguito entrambi i metodi ad un problema semplice;
- Operare un confronto tra i due.

Gli obiettivi del confronto erano quelli di mettere in evidenza:

- Quali fossero le analogie e le differenze tra QFD e TRIZ prima a livello teorico, poi pratico;
- Quale dei due metodi offrisse l'approccio migliore al problema;
- Quale dei due metodi mettesse a disposizione gli strumenti più adeguati;
- Verificare se fosse possibile la messa in pratica di entrambe le metodologie in una sorta di terzo metodo (QFD+TRIZ);
- Verificare se la costituzione del metodo combinato fosse conveniente in termini di qualità del prodotto, tempo e denaro;
- Verificare alla fine del lavoro quali differenze presentava il prodotto ricavato dai due metodi e trarne le dovute considerazioni.

Per quanto riguarda analogie e differenze è evidente che i due metodi sono profondamente diversi. Pur proponendo entrambi di elevare notevolmente il livello qualitativo dei prodotti e l'efficacia dell'organizzazione del progetto mettono in pratica percorsi indirizzati al raggiungimento della soluzione radicalmente diversi.

Come accennato nei precedenti capitoli infatti, già ad un livello teorico si può verificare come il QFD sia un metodo induttivo, mentre il TRIZ deduttivo. In base a questo non è possibile stabilire quale sia il metodo migliore a priori.

È poi bene precisare che il QFD è uno strumento che è stato sviluppato in funzione delle necessità relative alla progettazione meccanica. Il TRIZ invece nasce da uno studio di "inventiva" sui brevetti e nel momento in cui è stato codificato come metodo gli è stato donato un carattere generale, pertanto non viene riservato solo all'ambito meccanico, ma è applicabile ad una serie molto vasta di discipline.

In merito all'approccio al problema emergono ancora differenze. Il QFD è un metodo potentissimo nella fase di chiarificazione del compito, pertanto attraverso le sue matrici si riesce ad organizzare tutta la gamma di informazioni necessarie al progetto. Il TRIZ invece, essendo un metodo meno specifico, si limita a formulare la soluzione "ottimale", l'IFR, poi procede subito con l'analisi funzionale e la risoluzione delle problematiche.

Gli strumenti dei metodi, cioè le matrici di interrelazione, i principi fisici ecc... appaiono fin dall'inizio adeguati alla risoluzione di specifiche anche molto complesse. Le matrici del QFD hanno sicuramente un carattere più didattico poiché rivolte ad un'indagine di carattere generale, mentre nel TRIZ ogni operazione da compiersi viene orientata specificatamente al conseguimento del risultato.

I due metodi presentano poi una grande analogia, nella fase in cui vengono messe in risalto le azioni da compiere per risolvere i problemi tecnici. Si tratta infatti della matrice dei "cosa, come" QFD e della matrice delle criticità TRIZ. Queste due tabelle assolvono al medesimo scopo e vengono costruite partendo da confronti basati sugli stessi concetti. In un caso, nel QFD però la matrice fornisce solo

indicazioni vaghe, mettendo in luce solo l'importanza dell'azione, mentre nell'altro metodo, nel TRIZ, vengono elencate istruzioni molto più precise da seguire.

Una volta messe in luce tutte le differenze e le analogie rilevate nei metodi, è stato messo in pratica il progetto della valvola di massima miniaturizzata. Il problema è stato affrontato in tre modi differenti:

1. chiarificazione del compito QFD
2. analisi funzionale TRIZ
3. combinazione del QFD e del TRIZ.

I cui risultati specifici ed i disegni di massima dei componenti progettati sono stati elencati nei relativi capitoli.

I risultati invece provenienti dal confronto sono i seguenti:

- ❖ È possibile far lavorare QFD e TRIZ in una sorta di “staffetta”, i due metodi possono collaborare in una sorta di successione logica.
- ❖ È opportuno che il progetto venga cominciato con la chiarificazione del compito QFD e che venga seguito dall'analisi funzionale ed applicazione dei principi TRIZ;
- ❖ È sconsigliato un lavoro in “parallelo” dei metodi poiché oltre a generare doppiamente gli stessi risultati complica notevolmente la gestione del lavoro;
- ❖ È sconsigliato invertire l'ordine dei metodi. Il TRIZ è uno strumento debole in fatto di chiarificazione del compito, al contrario del QFD che fa di questa fase il suo vantaggio più grande.

Il progetto ha visto nelle prime battute un'indagine completa attraverso il metodo QFD, indagine conclusasi al momento della stesura della specifica tecnica.

La specifica tecnica ha fornito tutti i dati necessari a costituire un punto di partenza del TRIZ, metodo che per come è strutturato riesce a mettere in risalto le problematiche tecniche e fisiche del problema e ne consente una brillante risoluzione.

Infine, per completare il confronto è stata progettata anche una valvola ricavata soltanto col metodo QFD ed è stato possibile notare che la variante relativa manifesta purtroppo un deficit di innovazione rispetto alla corrispettiva soluzione TRIZ.

Nonostante rispondano entrambe alle specifiche la variante TRIZ contiene infatti l'idea della membrana deformabile e dell'amplificazione delle forze mediante la camera sigillata in depressione. Idee suggerite dai principi stessi.

Riportiamo qui di seguito, nella pagina seguente, la tabella di confronto teorico tra i due metodi:

Fase	QFD	TRIZ	QFD & TRIZ
<b>Ricerca di mercato</b>	Strumenti di pianificazione prodotti (6 domande)	Ricerca della soluzione ideale (IFR), analisi del problema in termini fisici	Miglioramento del grado di idealità del prodotto, incontro superiore con le esigenze di mercato
<b>R&amp;D</b>	Inquadramento dei problemi	Risoluzione delle problematiche fisiche e tecniche	Raggiungere soluzioni il più complete possibili rispetto alle esigenze
	Impostazione dei	Applicazione di un'ampia	Ottenere un'evoluzione

	parametri minimi di qualità e requisiti	gamma di principi	del sistema rispetto allo stato dell'arte
<b>Design</b>	Chiarificazione del compito	Analisi funzionale mediante Su-Field	Ricerca di soluzioni raffinate ed exitements
	Impostazione dei parametri di affidabilità	Ottimizzazione dei componenti	Svolgere un'analisi dei guasti più precisa
	Sviluppo del concetto		Migliorare l'applicazione di concetti
	Analisi dei costi		Ottenere un risparmio nei costi di sviluppo
<b>Manufaturing</b>	Analisi dell'equipaggiamento	Ottimizzazione dei processi	Miglioramenti nei macchinari e nei processi
<b>Production</b>	Analisi dei processi	Applicazione dei principi ai processi e altro	Ottimizzazione della produzione
<b>After Service</b>	Analisi dei processi	Applicazione dei principi ai processi e altro	Ottimizzazione del servizio

#### Confronto metodi

Da quanto è emerso dalla messa in pratica del lavoro questa tabella riassuntiva è stata completamente verificata. Il QFD resta il metodo più potente da un punto di vista della chiarificazione del compito, mentre il TRIZ è in grado di superarlo nel momento in cui ci si trova a dare corpo alle idee ed ai concetti ricavati dalle analisi preventive.

### 5.7.2 – Conclusioni del progetto

Secondo importante risultato del lavoro è stata la progettazione del componente meccanico denominato: valvola di sfiato automatica miniaturizzata per pneumatici kart.



Kart in officina

Questo dispositivo era stato richiesto per risolvere i problemi dell'assetto dei mezzi ed attraverso l'applicazione delle metodologie si è riusciti a dare una risposta concreta alle esigenze manifestate.

Arrivati a questo punto del lavoro infatti i disegni costruttivi realizzati andrebbero discussi con un'officina e potrebbe cominciare la produzione dei primi prototipi, in modo da far partire una serie di test legati al funzionamento del dispositivo ed al beneficio concreto relativo alle prestazioni del mezzo.

Purtroppo, è stato preso atto che il regolamento di questo genere di competizioni è particolarmente severo in materia di gomme e per questo si sono dovute scartare alternative di soluzione decisamente più competitive ed efficaci.

Tuttavia, la valvola progettata risponde a tutte le specifiche:

- *è talmente piccola da poter essere montata anche sulle ruote anteriori ed addirittura scambiata con un tappino semplice,*
- *facilissima da montare,*
- *insensibile alla forza centrifuga poiché senza peso*
- *resistente ad urti*
- *sicura*
- *monouso*

Tutti questi requisiti rappresentano un risultato decisamente positivo perchè il problema fin dall'inizio appariva tanto banale quanto insolubile.

Anche grazie all'applicazione delle metodologie è stato possibile risalire a tutta quella serie di parametri e di caratteristiche da mettere in risalto per ottenere un prodotto efficace sotto tutti i punti di vista.

Sviluppo futuro della valvola consisterà proprio nella progettazione della molla, del sistema di depressione della camera e dei macchinari relativi alla costruzione effettiva sia dei prototipi quanto dei potenziali modelli di serie, da realizzarsi in una gamma di pressioni di sfiato abbastanza ampia da soddisfare le richieste dei vari utenti e le necessità di guida dei piloti.



# ***Capitolo 6:***

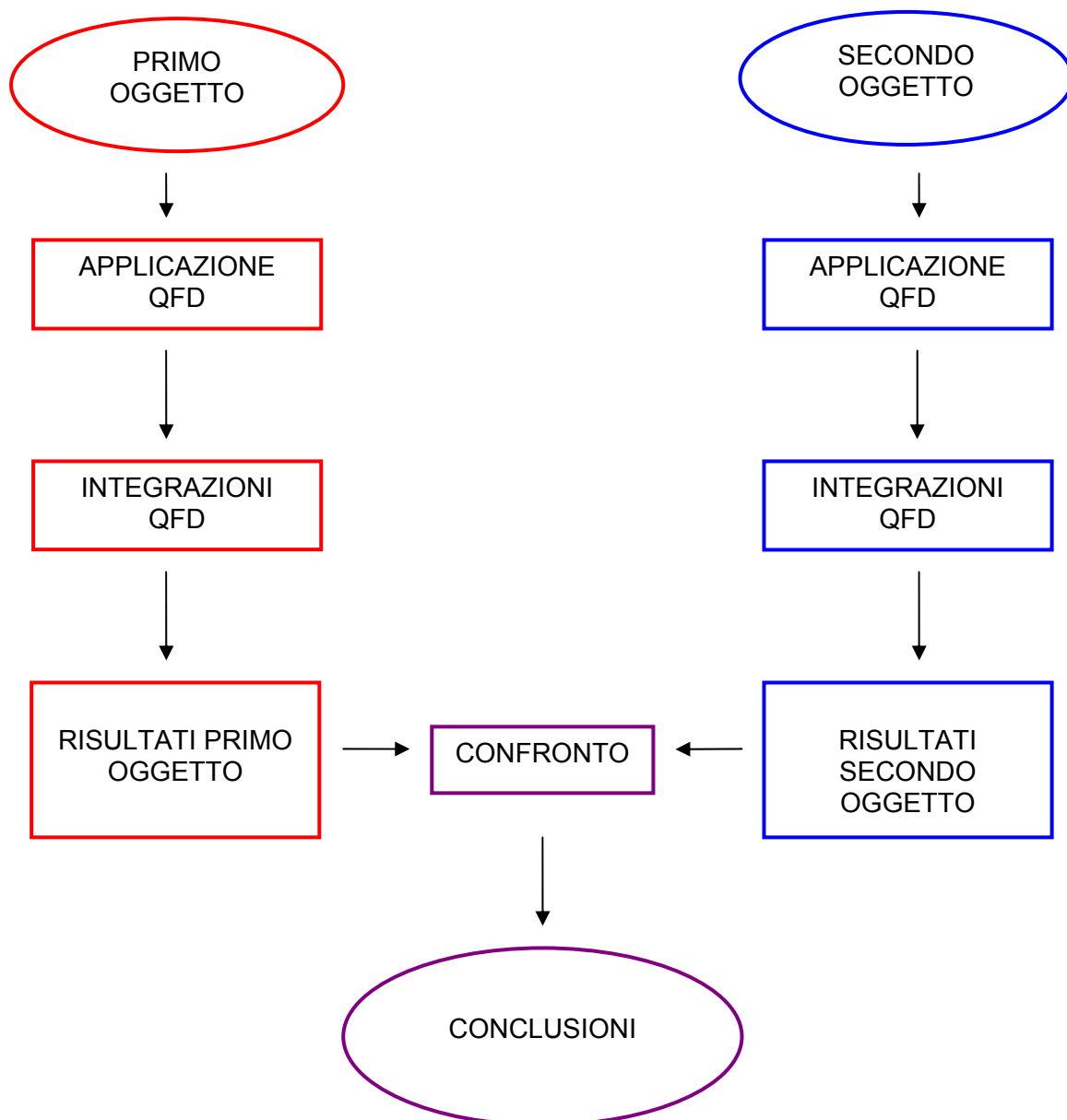
***Sintesi di un Nuovo Metodo:  
Ricerca applicata a due Progetti  
di Complessità differente***

## 6.1 Obiettivi di Ricerca e Sperimentazione: applicazione del QFD a due progetti di differente complessità

I due principali obiettivi di questo capitolo sono:

- ‘stressare’ il metodo QFD per verificarne la robustezza, applicandolo a due progetti di complessità differente
- proporre eventuali integrazioni al metodo stesso per sintetizzarne uno più completo

Risulta possibile schematizzare in pochi passaggi la strada che si seguirà:



Il Quality Function Deployment è un metodo che di solito viene utilizzato per seguire quella che usualmente viene chiamata **progettazione sistematica**, cioè la gestione dell'intero processo progettuale, dalla pianificazione fino al progetto costruttivo di massima.

Spesso vengono espressi dubbi in merito, ritenendo che la progettazione non possa essere pensata come qualcosa di così algoritmico come il metodo suggerisce.

Qui si applicherà il metodo a due prodotti industriali che nulla paiono avere in comune, né come materiali, né come processi produttivi, né come campo di utilizzo:

- una **caraffa** per liquidi potabili
- un **sedile** del conducente per automobile di classe media.

Con la parola “caraffa” e “sedile” si intendono non due prodotti ben definiti, bensì due entità che dovrebbero possedere le caratteristiche ideali di tali prodotti.

L'applicazione del metodo a due oggetti così differenti sia nell'uso e sia nella produzione industriale potrà dire se il QFD pare così robusto da poter essere utilizzato liberamente nella fase iniziale della fattibilità in ogni campo industriale (perlomeno negli ambiti dell'automotive e dell'oggettistica per la casa) o se invece sarà necessario effettuare ulteriori indagini per evitare rischiosi giudizi.

Questo metodo risale circa a quarant'anni fa e fu ideato in oriente.

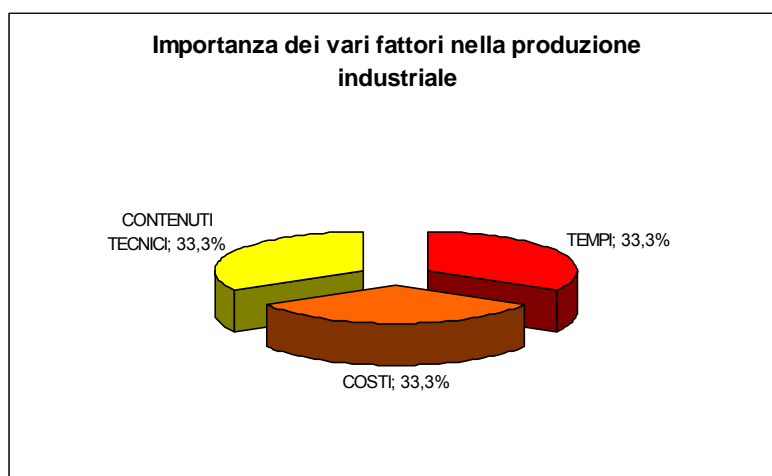
Le due premesse appena citate fanno sì sia che possa esistere la possibilità che esso sia diventato obsoleto, sia che sia possibile che esso presenti aspetti ostici a chi possiede mentalità che orientale non è.

Parallelamente, quindi, si proverà (in questo caso con l'ausilio dell'ing. Piergiorgio Galli, già laureando) ad integrare e ad aggiornare il metodo nella speranza di colmare eventuali lacune o di applicare miglioramenti tesi all'efficienza dell'azienda che intende seguirlo ed alla soddisfazione del cliente finale.

Come già anticipato uno scopo di questo elaborato è compiere un confronto, applicando il metodo QFD, tra due oggetti, uno industrialmente semplice da progettare e da produrre ed uno più complesso.

La base della tesi è il seguente semplice concetto: l'importanza, a livello aziendale, dei vari fattori che concorrono alla scelta di avvio alla produzione di un determinato oggetto anziché di un altro viene suddivisa in tre quote equivalenti

- **Contenuti tecnici:** 33%
- **Tempi:** 33%
- **Costi:** 33%



Apparentemente può sembrare assurdo dare la stessa importanza a questi tre fattori, visto che il termine “contenuti tecnici” racchiude un discreto numero di caratteristiche fondamentali, cioè tutte quelle che consentono all’oggetto di funzionare e di risultare appetibile per il potenziale compratore.

Se si stesse considerando un oggetto artigianale come può essere un lampadario in vetro di Murano o un abito di sartoria, la suddivisione in parti uguali sarebbe sicuramente sbilanciata, visto che in questi casi si è disposti a pagare un prezzo nettamente superiore come riconoscimento all’unicità dell’oggetto stesso ed alla professionalità dell’operatore.

Trattandosi invece di pezzi prodotti industrialmente, laddove la concorrenza è sempre pronta a mettere sul mercato un oggetto -come ad esempio, un telefono cellulare- con più funzioni e/o optional (contenuti tecnici), più rapidamente (tempi) e che abbia un prezzo di vendita inferiore (costi) il grafico sopra riportato appare realistico.

Ciascuno studio di entrambi gli oggetti verrà suddiviso in tre parti.

La prima parte, che rappresenta il corpo principale del capitolo, sarà dedicata alla ricerca dei contenuti tecnici con il metodo QFD, in particolare applicando le matrici di importanza, di indipendenza e di interrelazione. Al termine verrà effettuata un’analisi della concorrenza, sia per valutare la robustezza del metodo applicato, sia per ipotizzare su quali caratteristiche applicare le successive due analisi.

La seconda parte riguarderà un’analisi dei tempi, ipotizzando un diagramma di Gantt per ogni caratteristica.

La terza parte sarà invece un’analisi dei costi sui materiali, più immediata per il pezzo semplice e più articolata per quello più complesso.

## 6.2 Analisi dei requisiti tecnici del progetto semplice (la caraffa)

Si consideri un oggetto semplice, ad esempio una caraffa per liquidi potabili.

La semplicità di tale prodotto appare evidente: essendo composta da pochi componenti, se non addirittura da uno soltanto, e non essendo sollecitata da forze significative risulta facile sia da progettare sia da produrre.

Le fasi da seguire, come prima cosa, sono:

- documentare l'ambiente con le cosiddette "6 domande" e sintetizzare i potenziali bisogni del cliente;
- scrivere una matrice di interrelazione per valutare la dipendenza e l'indipendenza dei requisiti trovati in precedenza;
- scrivere una matrice di interrelazione per valutare l'importanza delle stesse caratteristiche;
- scrivere una specifica tecnica elencando le possibili caratteristiche tecniche in grado di soddisfare i bisogni del cliente;
- scrivere una matrice di relazione per valutare l'importanza delle caratteristiche tecniche;
- effettuare un confronto tra le caratteristiche tecniche trovate con lo studio mediante QFD e quelle rilevate con un'analisi della concorrenza.

Le cosiddette "6 domande" sono:

<b>Chi?</b>	chi usa il prodotto?
<b>Cosa?</b>	qual è l'uso del prodotto?
<b>Dove?</b>	dove viene usato il prodotto?
<b>Quando?</b>	quando è usato il prodotto?
<b>Perché?</b>	perché è usato il prodotto?
<b>Come?</b>	come viene usato il prodotto?

Dalla lettura delle domande appare abbastanza chiaro quale risposta esse necessitino, ma occorre porre attenzione al "perché" che richiede non l'uso globale del prodotto bensì i motivi specifici per cui lo si usa (se si stesse parlando di un bicchiere, la risposta non sarebbe "per bere", bensì "per fare raffreddare bevande calde", "per ragioni igieniche", "per dissetare lungo un arco temporale", "per poter bere anche lontano da fonti di liquidi", ecc.).

Si risponda quindi alle "6 domande" in merito alla caraffa:

<b>Chi?</b>	→	uomini e donne di ogni età
<b>Cosa?</b>	→	riempire un bicchiere
<b>Dove?</b>	→	a tavola, in terrazzo, in giardino
<b>Quando?</b>	→	pranzo, cena, merenda, aperitivo
<b>Perché?</b>	→	per non acquistare acqua minerale, per ragioni estetiche, per mantenere un liquido a temperatura costante
<b>Come?</b>	→	si riempie, si impugna, si versa il contenuto.

Si sintetizzino le caratteristiche che una caraffa per liquidi potabili può/deve possedere:

1 esteticamente gradevole

- 2 a norma di sicurezza
- 3 ergonomica
- 4 resistente
- 5 semplicità di manutenzione
- 6 anti-goccia
- 7 durevole
- 8 stagna
- 9 con accessori

Dopo aver stilato una lista di ipotetici bisogni del cliente, occorre redigere la prima matrice, cioè una matrice di interrelazione per definire le variabili dipendenti e quelle indipendenti e tracciare i relativi grafici.

Si scrivono i bisogni sia nella prima riga sia nella prima colonna e si compila la matrice considerando le caratteristiche della prima riga come **causa** e quelle della prima colonna come **effetto**, cercando di stimare i gradi di dipendenza.

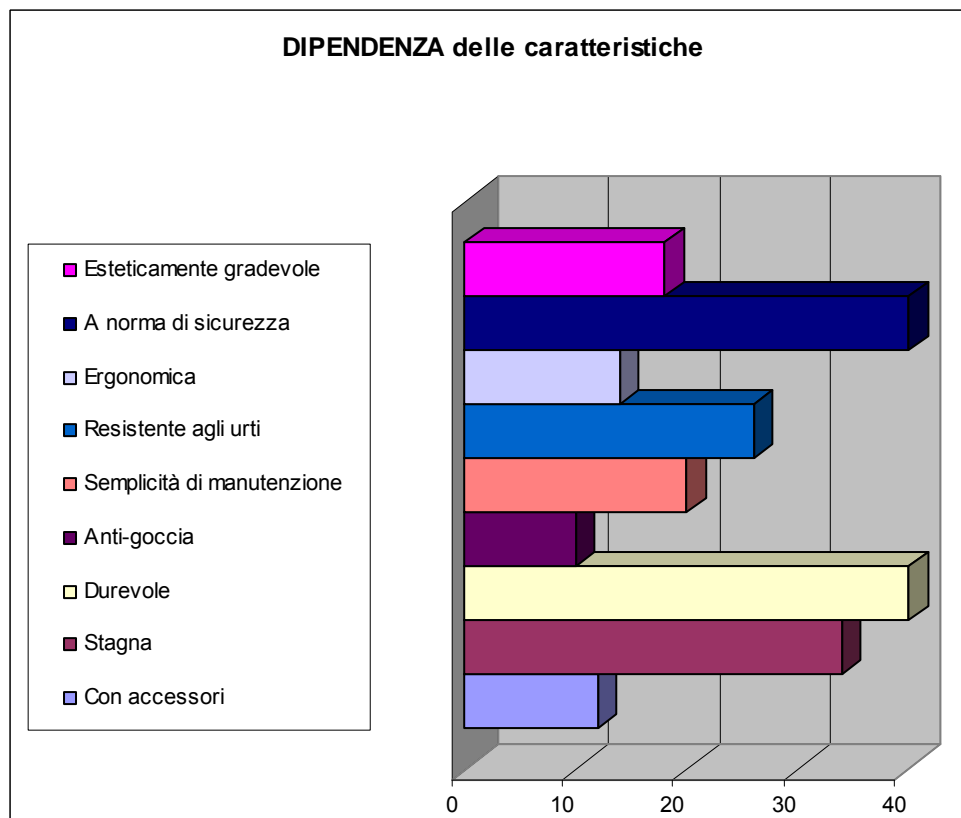
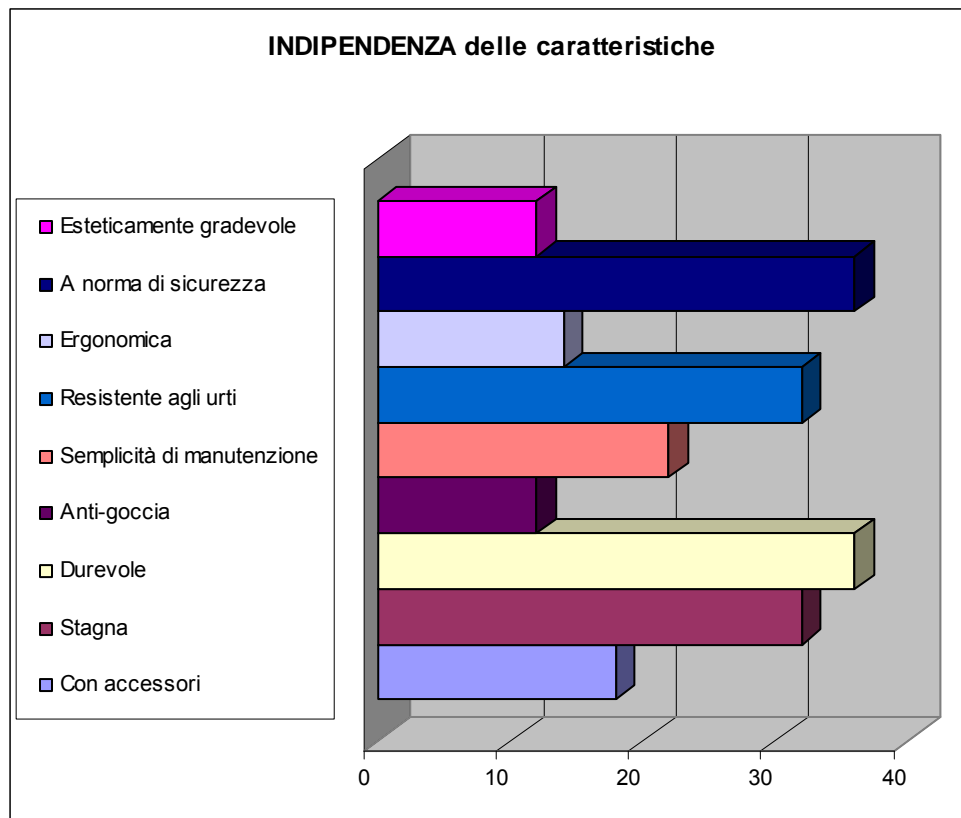
Ad esempio se si considera la colonna “resistente” e la riga “esteticamente gradevole” appare evidente che il fatto che la caraffa sia resistente non ha effetti sul fatto che sia gradevole alla vista (valore pari ad 1), mentre se la si considera “stagna”, ciò incide sicuramente sull’essere “a norma di sicurezza” (valore pari a 9).

Nell’ultima riga, infine, si trovano i valori di indipendenza, cioè quanto ogni caratteristica influenza le altre, mentre nell’ultima colonna i valori di dipendenza, cioè quanto ogni caratteristica è influenzata dalle altre.

Valori nelle caselle:

- 1 se l’elemento di riga è debolmente dipendente da quello di colonna
- 3 se l’elemento di riga è mediamente dipendente da quello di colonna
- 9 se l’elemento di riga è fortemente dipendente da quello di colonna

Matrice di dipendenza/indipendenza											
CAUSE	EFFETTI	Esteticamente gradevole	A norma di sicurezza	Ergonomica	Resistente agli urti	Semplicità di manutenzione	Anti-goccia	Durevole	Stagna	Con accessori	TOT
	Esteticamente gradevole		1	3	1	3	3	3	1	3	18
	A norma di sicurezza	1		3	9	3	3	9	9	3	40
	Ergonomica	3	3		1	1	1	1	1	3	14
	Resistente agli urti	1	9	1		1	1	9	1	3	26
	Semplicità di manutenzione	1	3	1	1		1	1	9	3	20
	Anti-goccia	3	1	1	1	1		1	1	1	10
	Durevole	1	9	1	9	9	1		9	1	40
	Stagna	1	9	1	9	3	1	9		1	34
	Con accessori	1	1	3	1	1	1	3	1		12
	TOT	12	36	14	32	22	12	36	32	18	





Osservando i due grafici si rileva che le quattro caratteristiche più indipendenti (**a norma di sicurezza, durevole, stagna, resistente agli urti**) sono anche le quattro maggiormente dipendenti, cioè esse hanno un doppio ruolo, influenzando le altre ed essendone influenzate.

Le due caratteristiche che maggiormente si distaccano da questa situazione apparentemente contraddittoria sono la prima (**esteticamente gradevole**) e l'ultima della serie (**con accessori**): la prima risulta essere indipendente con un valore pari a 18 su 214 (8.4%) ed essere dipendente con un valore pari a 12 su 214 (5.6%), mentre la seconda esattamente l'opposto. Se si volesse eliminare le caratteristiche più dipendenti tra quelle da tenere in considerazione successivamente, l'unica sarebbe quindi il fattore estetico. Esso verrà però mantenuto visti i valori molto simili di dipendenza ed indipendenza.

La seconda fase riguarda il redigere un'altra matrice di interrelazione per stabilire l'importanza relativa delle caratteristiche.

Anche in questo caso nella prima riga e nella prima colonna vengono scritte tutte le caratteristiche e successivamente si compila la matrice.

A differenza della matrice precedente, che era singolare ed andava compilata interamente, questa presenta una sorta di "anti-simmetria", per cui è sufficiente ragionare o sul triangolo superiore rispetto alla diagonale principale o sul triangolo inferiore, essendo le due metà collegate.

Si faccia un esempio chiarificatore: dato il valore della casella **n, m** (riga = n, colonna = m), quello della casella **m, n** (riga = m, colonna = n) risulterà lo stesso in caso di valore pari ad 1, oppure 0 in caso di valore pari a 2 o 2 in caso di valore pari a 0.

Questa proprietà della matrice si giustifica con il fatto che mentre dipendenza ed indipendenza non sono concetti biunivoci, importanza maggiore ed importanza minore sì, per cui se avere proprietà anti-goccia è più importante di un design curato (valore 0 nella riga "anti-goccia"), avere un design curato è meno importante di avere proprietà anti-goccia (valore 2 nella riga "esteticamente gradevole").

---0---

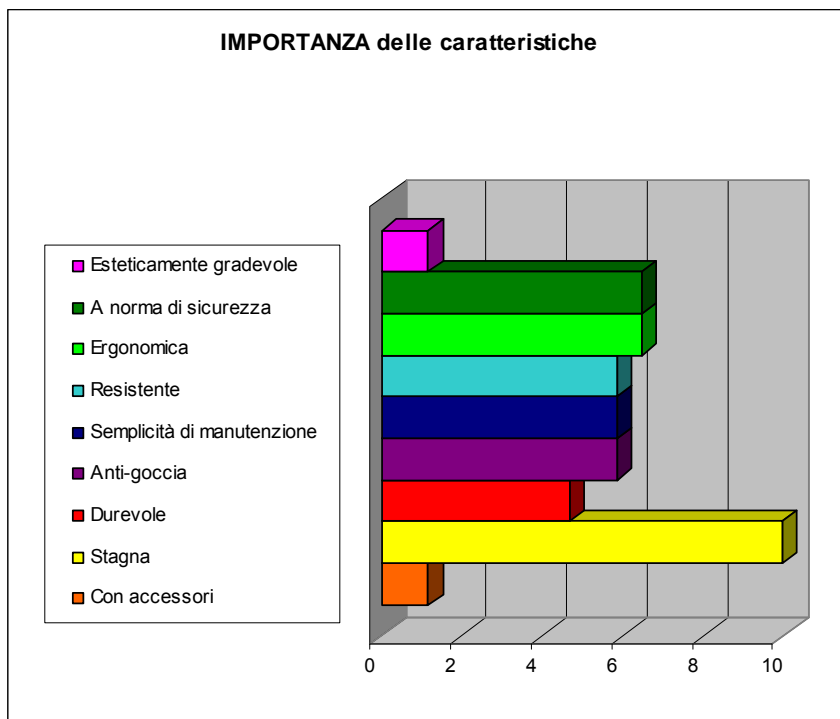
Valori nelle caselle:

**0** se l'elemento di riga ha importanza maggiore di quello di colonna

**1** se l'elemento di riga ha la stessa importanza di quello di colonna

**2** se l'elemento di riga ha importanza minore di quello di colonna

<b>Matrice di importanza</b>									
	Esteticamente gradevole	A norma di sicurezza	Ergonomica	Resistente	Semplicità di manutenzione	Anti-goccia	Durevole	Stagna	Con accessori
Esteticamente gradevole	1	2	2	2	2	2	2	2	1
A norma di sicurezza	0	1	1	1	1	0	1	2	0
Ergonomica	0	1	1	1	1	1	0	2	0
Resistente	0	1	1	1	1	1	1	2	0
Semplicità di manutenzione	0	1	1	1	1	1	1	2	0
Anti-goccia	0	2	1	1	1	1	0	2	0
Durevole	0	1	2	1	1	2	1	2	0
Stagna	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Con accessori	1	2	2	2	2	2	2	2	1
<b>TOT</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>17</b>	<b>2</b>
<b>Normalizzato 1-10</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>1</b>



Dall'osservazione del grafico risulta evidente che il fatto di essere **stagna** è nettamente più importante (valore pari a 10 in una scala normalizzata da 1 a 10) di tutte le altre caratteristiche, mentre il possedere **accessori** ed essere **esteticamente gradevole** risultano le caratteristiche meno importanti (valore pari a 1 in scala normalizzata da 1 a 10).

A questo punto si passa alla stesura della “specifica tecnica”, cioè di COME tecnicamente si possono soddisfare i bisogni del cliente rilevati precedentemente.

Requisiti richiesti dal cliente: <b>COSA?</b>	Requisiti tecnici per soddisfare il cliente: <b>COME?</b>
<b>Esteticamente gradevole</b>	Forma, colori, grafica curati
<b>A norma di sicurezza</b>	No punte/spigoli, materiali conformi alla normativa CE
<b>Ergonomica</b>	Manico sagomato/gommoso, equilibrata, base planare
<b>Resistente</b>	Materiale non fragile, materiale bassa densità
<b>Semplicità di manutenzione</b>	Accessibilità per lavaggio a mano, lavabile in lavastoviglie

<b>Anti-goccia</b>	Beccuccio sagomato, sagoma interna per accelerare il fluido
<b>Durevole</b>	Materiali resistenti alla luce, all'aria, ai liquidi
<b>Stagna</b>	Materiali impermeabili
<b>Accessori</b>	Tappo, parti intercambiabili
<b>Ulteriori caratteristiche</b>	Capiente, riponibile in frigorifero, termica

Si può osservare che con la stesura della specifica si è compilato un elenco abbastanza numeroso di caratteristiche tecniche.

Si riuniscano quindi tutte le caratteristiche chimico-fisiche dei materiali (**non fragile, bassa densità, impermeabile, lavabile in lavastoviglie, resistente a luce, aria e liquidi**) sotto la dicitura “**materiali conformi CE**”, sia data per scontata la **planarità della base**, si consideri l'**accessibilità per lavaggio a mano** nel termine “**capiente**”, si elimini “**parti intercambiabili**” affinché possa essere usata anche dai bambini e per non complicare produzione e distribuzione.

Scrivendo le caratteristiche appena definite, e con l'aiuto dei dati rilevati nella seconda matrice risulta possibile impostare la matrice di relazione.

Per definirla si mettono nella prima colonna i COSA -cioè i bisogni che già sono stati rilevati- e nella prima riga i COME -cioè con quali caratteristiche tecniche ci si propone di risolvere i bisogni.

Nella seconda colonna si mettono i valori di importanza normalizzati da 1 a 10 trovati con la matrice di interrelazione.

SI moltiplica ogni valore per quello corrispondente a parità di riga nella seconda colonna, sommando i valori trovati di ogni colonna fino a completare l'intera penultima riga.

Nell'ultima riga si trovano infine i valori, in percentuale, relativi alla somma totale (1104),

Per esempio il requisito “**anti-goccia**” (importanza pari a 6) viene soddisfatto pienamente (valore pari a 9) dalla caratteristica tecnica “**beccuccio sagomato**” e quindi il numero trovato moltiplicando i due dati ( $6 \times 9 = 54$ ) verrà sommato agli altri della stessa colonna.

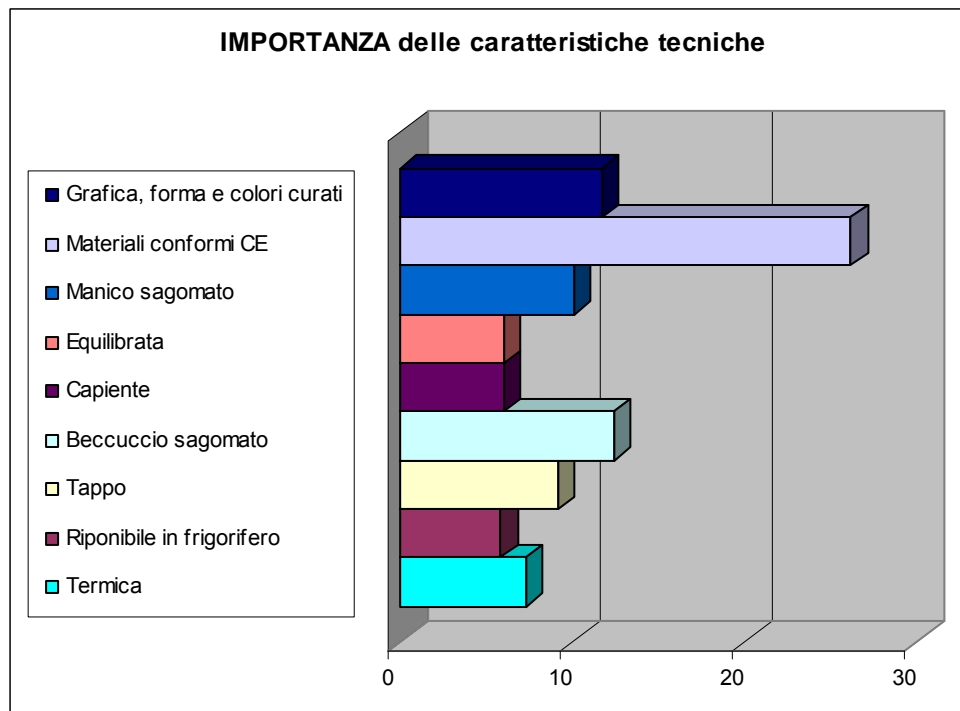
In maniera analoga lo stesso requisito “**anti-goccia**” viene soddisfatto debolmente (valore pari ad 1) dalla caratteristica tecnica “**stagna**” per cui si troverà il numero 6 ( $1 \times 6 = 6$ ) da sommare agli altri della stessa colonna.

Valori nelle caselle:

- 1 il parametro tecnico soddisfa debolmente il requisito
- 3 il parametro tecnico soddisfa mediamente il requisito
- 9 il parametro tecnico soddisfa fortemente il requisito

Matrice di interrelazione										
COME  COSA	IMPORTANZA	Grafica, forma e colori curati	Materiali conformi CE	Manico sagomato	Equilibrata	Capiente	Beccuccio sagomato	Tappo	Riponibile in frigorifero	Termica
Stagna	10	1	9	1	1	1	1	1	1	1
A norma di sicurezza	7	1	9	1	3	1	1	3	1	3
Ergonomica	7	1	1	9	9	1	1	1	1	1
Resistente	6	1	9	1	1	1	1	1	1	1
Semplicità di manutenzione	6	3	3	1	1	3	3	3	1	1
Anti-goccia	6	9	1	1	1	1	9	1	3	1
Durevole	5	1	9	1	1	1	3	1	1	3
Esteticamente gradevole	2	9	1	3	1	3	9	9	1	3
Con accessori	1	3	1	1	1	1	1	9	3	3
Importanza tecnica assoluta		128	286	110	120	66	136	100	64	80
Importanza tecnica relativa		12	26	10	11	6,1	12	9,2	5,9	7,3

Si riassumono i dati graficamente ed in una tabella in ordine decrescente.



Valore	Risultati trovati
26%	Materiali conformi alla normativa CE
12%	Beccuccio sagomato
12%	Grafica, forma e colori curati
11%	Equilibrata
10%	Manico sagomato
9%	Tappo
7%	Termica
6%	Capiente
6%	Riponibile in frigorifero

Si svolga ora l'ultima fase di questo capitolo, cioè effettuare una breve ricerca tra la concorrenza prendendo in considerazione sette modelli scelti trovati sia consultando Internet sia visitando negozi di casalinghi.

Naturalmente il mercato delle caraffe per liquidi potabili è ben più ampio di quello qui rappresentato, ma si è cercato di considerare sia marche conosciute a livello italiano, sia caraffe con caratteristiche e prezzi differenti.

L'ideale sarebbe stato avere accesso a dati percentuali di vendita per valutare non tanto ciò che il produttore mette in vendita, bensì ciò che il cliente acquista, ma non è stato possibile trovarli.

L'ultima considerazione in merito riguarda il prezzo: per le sette caraffe è stato considerato il prezzo di listino per cercare di usare un metro di valutazione il più oggettivo possibile, ma naturalmente è possibile trovare la stessa caraffa in vendita nei negozi o nei centri commerciali o su Internet a prezzi differenti da quelli qui indicati.



Tua ALESSI



Soffiata GUZZINI



Graduata GUZZINI



Impuls IKEA



Patar IKEA



Preludio TUPPERWARE



Filtrante KENWOOD

Tutte le caratteristiche principali dei sette prodotti vengono riassunte qui di seguito.  
Per rendere immediata la consultazione della tabella si ponga:

- quando la caratteristica non è soddisfatta
- 0 quando la caratteristica è debolmente soddisfatta
- + quando la caratteristica è fortemente soddisfatta

Per quanto riguarda la capacità, la si ritenga debolmente soddisfatta da 0.7l a 1.5l, mentre il prezzo debolmente soddisfatto da 10€ a 30€.

	Tua ALESSI	Soffiata GUZZINI	Graduata GUZZINI	Impuls IKEA	Patar IKEA	Preludio TUPPEWARE	Filtrante KENWOOD
Capacità (litri)	1	1.6	1	2	1.8	1.7	1.1
Capiente	0	+	0	+	+	+	0
Grafica, forma e colori curati	+	+	-	-	-	-	-
Materiali conformi CE	+	+	+	+	+	+	+
Manico sagomato	+	+	+	+	+	+	+
Equilibrata	+	-	+	+	-	+	+
Beccuccio sagomato	+	+	+	+	+	+	+
Tappo	-	-	+	+	+	+	+
Riponibile in frigorifero	+	-	+	+	-	+	+
Filtrante	-	-	-	-	-	-	+
Termica	-	-	-	+	+	-	-
Graduata	-	-	+	-	-	-	-
Prezzo di vendita (€)	110	15	13	5	15	21	29
Economica	-	0	0	+	0	0	0



Da una valutazione dei prodotti della concorrenza si può rilevare che le caraffe:

- hanno mediamente un prezzo di vendita compreso tra €5 e €20;
- sono spesso in polimeri trasparenti;
- hanno dimensioni e capacità molto varie;
- in genere ognuna ha una caratteristica prevalente a scapito di altre.

A questo punto si termina la prima parte riassumendo le proprietà possedute dalle sette caraffe in un'unica colonna, dove

**X** significa che la caratteristica è propria di almeno quattro caraffe, cioè della maggioranza

**---** significa che la caratteristica è posseduta da non più di tre caraffe

Valore	Risultati trovati	Caraffe commercializzate
26%	Materiali conformi alla normativa CE	X
12%	Beccuccio sagomato	X
12%	Grafica, forma e colori curati	---
11%	Equilibrata	X
10%	Manico sagomato	X
9%	Tappo	X
7%	Termica	---
6%	Capiente	X
6%	Riponibile in frigorifero	X

Esaminando questa tabella riassuntiva e quella precedente più dettagliata si osserva che le caraffe prese in considerazione tendono ad essere o carenti sull'estetica o sulle altre caratteristiche. L'unica che pare più vicina ad appagare i desideri della clientela pare essere quella dell'azienda Alessi, ma di contro presenta l'handicap di un prezzo molto alto.

Applicando il metodo QFD al prodotto "caraffa" è stata trascurata la caratteristica "**economica**", in quanto essa è una proprietà che è talmente dipende dalle altre e difficilmente quantificabile in questa sede che si è supposta ovvia.

## 6.3 Analisi dei tempi del progetto semplice

Questo capitolo, come anche il successivo, fa uso di dati intuitivi, in quanto non è possibile ottenerne di più precisi per ragioni di segreto industriale.

I dati temporali che vengono di seguito considerati mi sono stati suggeriti da un responsabile di un ufficio tecnico di un'azienda medio-piccola, ma si può presumere che essi siano abbastanza elastici da potersi considerare generali, in quanto all'aumentare della complessità del prodotto è plausibile che aumentino le risorse da riservare ad esso.

Per semplicità ed immediatezza si utilizzano i diagrammi di Gantt, dove in ascissa c'è il tempo ed in ordinata le otto fasi seguenti:

- 1: **analisi di fattibilità**
- 2: **ok a fattibilità**
- 3: **incarico al fornitore**
- 4: **progettazione e codesign**
- 5: **fine progettazione**
- 6: **lancio industriale**
- 7: **industrializzazione/costruzione**
- 8: **disponibilità componenti per produzione**

L'**analisi di fattibilità** riguarda il capire se un prodotto risponde da subito alle caratteristiche richieste senza averle testate prima su un prototipo dalle caratteristiche costruttive definitive.

Ciò ruota attorno alla Ricerca & Sviluppo, dall'idea iniziale fino all'emissione dei disegni costruttivi non definitivi, senza dimenticare le analisi di mercato e della concorrenza. Senza entrare troppo nello specifico si può considerare un mese come tempo massimo ragionevole per svolgere queste attività.

L'**ok a fattibilità**, la **fine progettazione**, il **lancio industriale** e la **disponibilità componenti per produzione** vengono rappresentati da un simbolo (♦) in quanto essi sono semplicemente un ok o meno a procedere di chi ha la responsabilità della fase appena conclusa.

L'**incarico al fornitore** comprende dal verificare l'effettiva disponibilità di chi fornisce la materia prima (o altri servizi, come ad esempio le lavorazioni meccaniche ed i trattamenti superficiali) fino alla firma del contratto di fornitura. Anche per questo stadio si può considerare una durata massima di un mese.

La **progettazione/codesign** riguarda la progettazione da parte del personale dell'ufficio tecnico dell'azienda eventualmente assieme al committente, per cui pare ragionevole assegnare a ciò un tempo massimo di tre mesi, vista la concreta possibilità di incontrare difficoltà nella collaborazione con agenti esterni.

L'**industrializzazione (costruzione da attrezzamento definitivo)** è la fase in cui si completa la realizzazione degli attrezzamenti per la produzione industriale e la conseguente costruzione dei componenti definitivi.

In questa fase è compresa la produzione dell'avanserie.

Anche in questo caso si può supporre un tempo massimo di realizzazione di tre mesi.

Viene di seguito effettuato lo studio dei tempi per ogni caratteristica trovata con il metodo QFD in ordine decrescente d'importanza.

Nello scrivere i diagrammi non è parso credibile usare un'unità di misura maggiormente dettagliata di un mese per mancanza di dati precisi, ma si fa notare che a livello industriale i diagrammi di Gantt vengono rappresentati con unità di misura di una settimana e a volte addirittura di un giorno.

### Materiali conformi CE

Durata in mesi:	1	2	3	4
1) Analisi di fattibilità				
2) Ok a fattibilità	♦			
3) Incarico al fornitore				
4) Progettazione/codesign				
5) Fine progettazione			♦	
6) Lancio industriale			♦	
7) Industrializzazione/costruzione				
8) Disponibilità componenti per produzione				♦

I tempi in merito alla scelta di utilizzare materiali conformi alla normativa CE sono stati stimati come minimi (quattro mesi in tutto), in quanto si suppone l'adozione di materiali di uso pressoché comune. Questa osservazione trova fondamento nel fatto che la normativa CE, a differenza ad esempio delle norme UNI che certificano la qualità, la sicurezza e l'ambiente, non è particolarmente severa.

### Beccuccio sagomato

Durata in mesi:	1	2	3	4	5
1) Analisi di fattibilità					
2) Ok a fattibilità	♦				
3) Incarico al fornitore					
4) Progettazione/codesign					

5) Fine progettazione			♦		
6) Lancio industriale			♦		
7) Industrializzazione/costruzione					
8) Disponibilità componenti per produzione					♦

Si è immaginato un tempo di due mesi per l'**industrializzazione** perché si è immaginato che produrre un beccuccio sagomato che presenti delle concavità, delle convessità e dei raggi di raccordo di dimensione non costante presenti qualche difficoltà in più di un normale beccuccio.

### Grafica, forma e colori curati

Durata in mesi:	1	2	3	4	5
1) Analisi di fattibilità					
2) Ok a fattibilità	♦				
3) Incarico al fornitore					
4)Progettazione/codesign					
5) Fine progettazione				♦	
6) Lancio industriale				♦	
7) Industrializzazione/costruzione					
8) Disponibilità componenti per produzione					♦

In questo caso sono stati supposti due mesi per **progettazione/codesign** in quanto curare grafica, forma e colori significa realizzare più disegni -spesso con differenze minime- e magari anche richiedere la consulenza di un designer esterno all'azienda.

**Equilibrata**

Durata in mesi:	1	2	3	4	5
1) Analisi di fattibilità					
2) Ok a fattibilità	♦				
3) Incarico al fornitore					
4) Progettazione/codesign					
5) Fine progettazione				♦	
6) Lancio industriale				♦	
7) Industrializzazione/costruzione					
8) Disponibilità componenti per produzione					♦

Anche qui si sono supposti due mesi per **progettazione/codesign** perché avere una caraffa equilibrata significa studiare maggiormente i materiali, la distribuzione delle masse e forse anche la realizzazione di più prototipi.

**Manico sagomato**

Durata in mesi:	1	2	3	4	5	6
1) Analisi di fattibilità						
2) Ok a fattibilità	♦					
3) Incarico al fornitore						
4) Progettazione/codesign						
5) Fine progettazione				♦		

6) Lancio industriale				♦		
7) Industrializzazione/costruzione						
8) Disponibilità componenti per produzione						♦

Per il manico sagomato due mesi sono parsi una stima realistica sia per **progettazione/codesign** per ragioni analoghe alla caratteristica “equilibrata”, sia per **industrializzazione/costruzione** perchè si è immaginato che produrre un manico sagomato che presenti delle concavità, delle convessità e dei raggi di raccordo di dimensione non costante presenti qualche difficoltà in più di un normale manico.

### Tappo

Durata in mesi:	1	2	3	4	5
1) Analisi di fattibilità					
2) Ok a fattibilità	♦				
3) Incarico al fornitore					
4)Progettazione/codesign					
5) Fine progettazione			♦		
6) Lancio industriale			♦		
7) Industrializzazione/costruzione					
8) Disponibilità componenti per produzione					♦

In merito allo studio di un tappo si sono considerati due mesi per **industrializzazione/costruzione** perché realizzarlo può significare incrementare il numero di macchine rispetto al non realizzarlo, ampliare lo spazio necessario per collocarle, diversificare l’imballaggio e altro.

### Termica

Durata in mesi:	1	2	3	4	5	6	7
1) Analisi di fattibilità							
2) Ok a fattibilità	♦						
3) Incarico al fornitore							
4) Progettazione/codesign							
5) Fine progettazione				♦			
6) Lancio industriale				♦			
7) Industrializzazione/costruzione							
8) Disponibilità componenti per produzione							♦

Una caraffa termica è sicuramente mediamente difficoltosa (due mesi) in fase di **progettazione/codesign** per la presenza di un materiale isolante o di un intercapedine, mentre è molto difficoltosa da realizzare durante l'**industrializzazione/costruzione**, a causa non solo del materiale isolante/intercapedine, ma anche dell'imballaggio e dello stoccaggio.

### Capiante

Durata in mesi:	1	2	3	4
1) Analisi di fattibilità				
2) Ok a fattibilità	♦			
3) Incarico al fornitore				
4) Progettazione/codesign				
5) Fine progettazione			♦	

6) Lancio industriale			♦	
7) Industrializzazione/costruzione				
8) Disponibilità componenti per produzione				♦

Il fatto che la caraffa sia capiente non pare presentare difficoltà tali da giustificare una o più fasi di durata superiore ad un mese.

### Riponibile in frigorifero

Durata in mesi:	1	2	3	4
1) Analisi di fattibilità				
2) Ok a fattibilità	♦			
3) Incarico al fornitore				
4) Progettazione/codesign				
5) Fine progettazione			♦	
6) Lancio industriale			♦	
7) Industrializzazione/costruzione				
8) Disponibilità componenti per produzione				♦

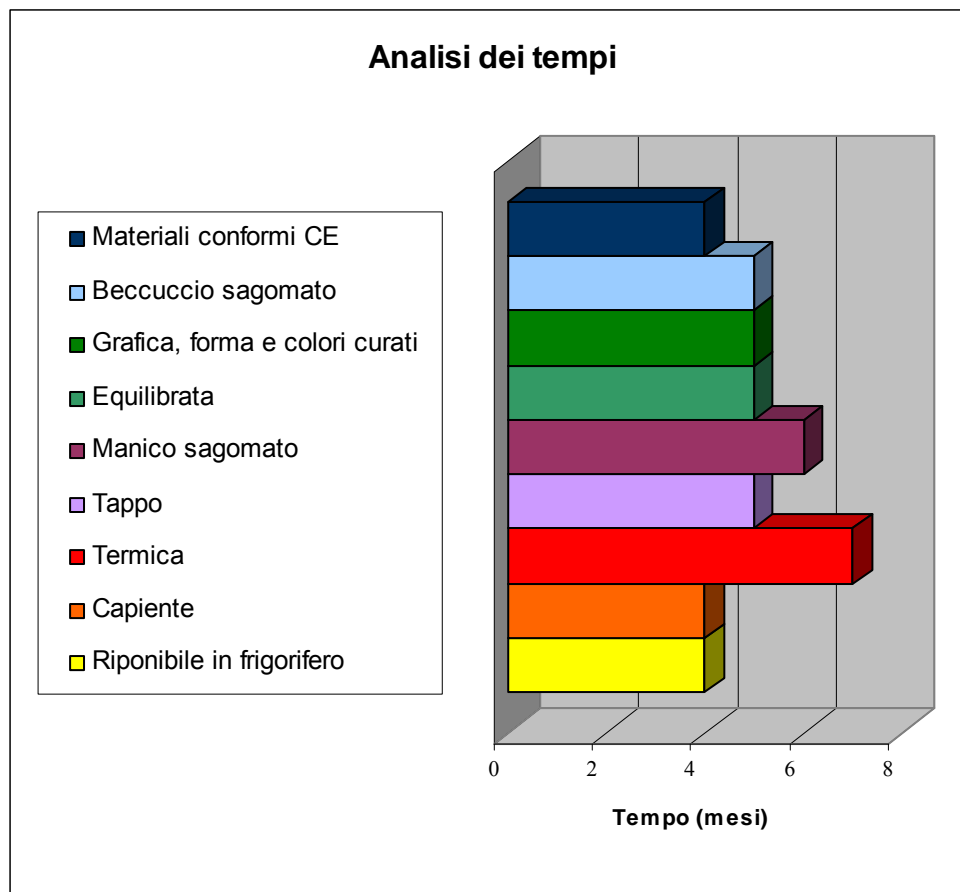
Analogamente alla caratteristica precedente i tempi di realizzazione per una caraffa riponibile in frigorifero si possono ritenere minimi.

Si riepilogano per chiarezza espositiva i dati trovati con il metodo QFD, con l'analisi della concorrenza e con l'analisi dei tempi:

Imp.	Caratteristica	Concorrenza	Tempo in mesi
26%	Materiali conformi CE	X	4
14%	Beccuccio sagomato	X	5



12%	Grafica, forma e colori curati	---	5
11%	Equilibrata	X	5
10%	Manico sagomato	X	6
9%	Tappo	X	5
7%	Termica	---	7
6%	Capiente	X	4
6%	Riponibile in frigorifero	X	4



Guardando i risultati trovati si può notare che ogni caratteristica richiede un tempo di realizzazione che va da un minimo di quattro mesi ad un massimo di sette mesi.

Rapportando i dati trovati nel capitolo precedente ed in questo risulta che le due particolarità di maggior impegno temporale, ovvero “**termica**” e “**manico sagomato**”, sono la quinta e la settima in ordine di importanza trovata applicando il metodo QFD.

Il requisito più “appetibile” per un potenziale produttore di caraffe parrebbe quindi essere la cura posta nella grafica, nella forma e nei colori, in quanto ciò viene spesso trascurato dalla concorrenza a favore di altre particolarità. Secondo l’analisi appena svolta questa mancanza non viene giustificata da tempi particolarmente lunghi: si può quindi ritenere che ci siano altre ragioni, come ad esempio una domanda scarsa di caraffe di design da parte dei clienti o costi troppo alti per la ricerca, lo sviluppo e la realizzazione di tali prodotti.

Si verificherà quest’ultima osservazione nel prossimo capitolo.

## 6.4 Analisi dei costi del progetto semplice

Resta infine da effettuare l'analisi dei costi della caraffa.

Ci si limiterà a studiare il costo del materiale, in quanto la scelta di una materia prima al posto di un'altra comporta una moltitudine di aspetti molto diversi tra loro.

Si considerino i principali parametri:

- **Ricerca e sviluppo**, cioè i costi che riguardano la progettazione/prototipazione dell'oggetto, dall'idea iniziale, alla messa in tavola;
- **Materiale**, cioè il costo dei materiali con i quali è fabbricato l'oggetto;
- **Attrezzatura**, cioè i costi delle macchine necessarie a produrre l'oggetto;
- **Manodopera**, cioè i costi di coloro che realizzano direttamente l'oggetto;
- **Logistica**, cioè i costi di stoccaggio, imballaggio e trasporto del prodotto.

Ulteriori costi, come ad esempio quelli di gestione, sono stati trascurati per non appesantire la trattazione.

Si faccia un confronto tra tre tipi di materiali diversi:

- **plastica monolitica;**
- **plastica ed acciaio;**
- **cristallo.**

La plastica monolitica è stata scelta perché rappresenta la tipica caraffa colorata ed economica.

Il binomio plastica ed acciaio rappresenta invece la caraffa termica, o comunque quella con una linea moderna.

Il cristallo infine rappresenta la caraffa tradizionale, quella che magari viene venduta nei negozi di casalinghi che trattano vetro di Murano.

Si giustificano qui di seguito i massimi valori messi nelle tabelle seguenti:

- **acciaio e plastica:**
  - R&S:** la progettazione di un oggetto costituito da due materiali diversi implica un incremento di complessità di studio rispetto al materiale singolo;
  - attrezzatura:** produrre un oggetto in plastica ed acciaio comporta un parco macchine numeroso per lavorare entrambi.
- **cristallo:**
  - materiale:** il costo del cristallo è nettamente superiore alla plastica ed è anche maggiore dell'acciaio;
  - manodopera:** per lavorare il cristallo occorre manodopera esperta e qualificata, oltre che di non facile reperibilità;
  - logistica:** immagazzinare un materiale fragile comporta maggiori spazi ed imballaggi più robusti e voluminosi rispetto ad un materiale non fragile.

I valori minimi e quelli medi si possono facilmente dedurre dalle osservazioni appena concluse.

Nell'ultima riga di entrambe le tabelle sono scritti i valori percentuali rispetto all'ipotetico massimo: se ad esempio –come nel caso della **plastica monolitica** nell'analisi dei costi relativa – si trova un totale pari a 7

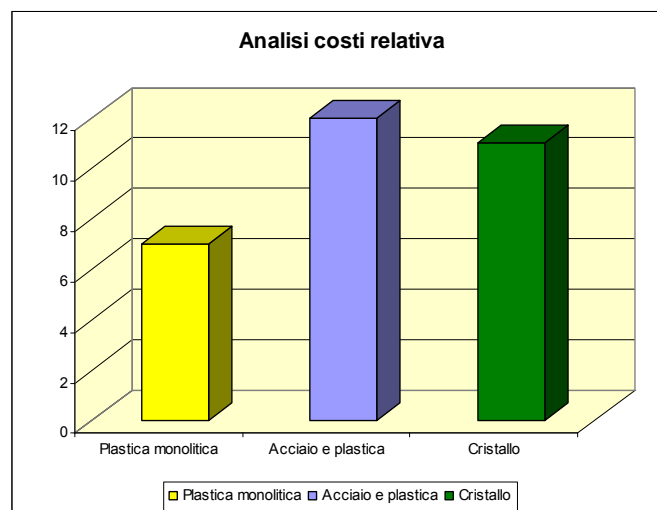
e si hanno cinque fasi ognuna quantificabile da 1 a 3, il massimo risulta  $3 \times 5 = 15$ , per cui nell'ultima casella si trova  $7 \cdot 100 / 15 = 47\%$

Si facciano quindi due semplici studi paralleli per verificare la robustezza del metodo:

- nel primo si esegua una valutazione grossolana, che sarà chiamata “relativa”, dei principali parametri in una scala ridotta, in cui 1 rappresenta il costo minimo, 2 il costo medio e 3 il costo massimo;
- nel secondo si sviluppi una valutazione più accurata, che sarà chiamata “assoluta”, ampliando la scala da un valore minimo di 1 ad un valore massimo di 10.

<b>Analisi dei costi relativa</b>			
	Plastica monolitica	Acciaio e plastica	Cristallo
R&S	2	3	1
Materiale	1	2	3
Attrezzatura	2	3	1
Manodopera	1	2	3
Logistica	1	2	3
<b>Totale</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>11</b>
<b>Tot. Percentuale</b>	<b>47%</b>	<b>80%</b>	<b>73%</b>

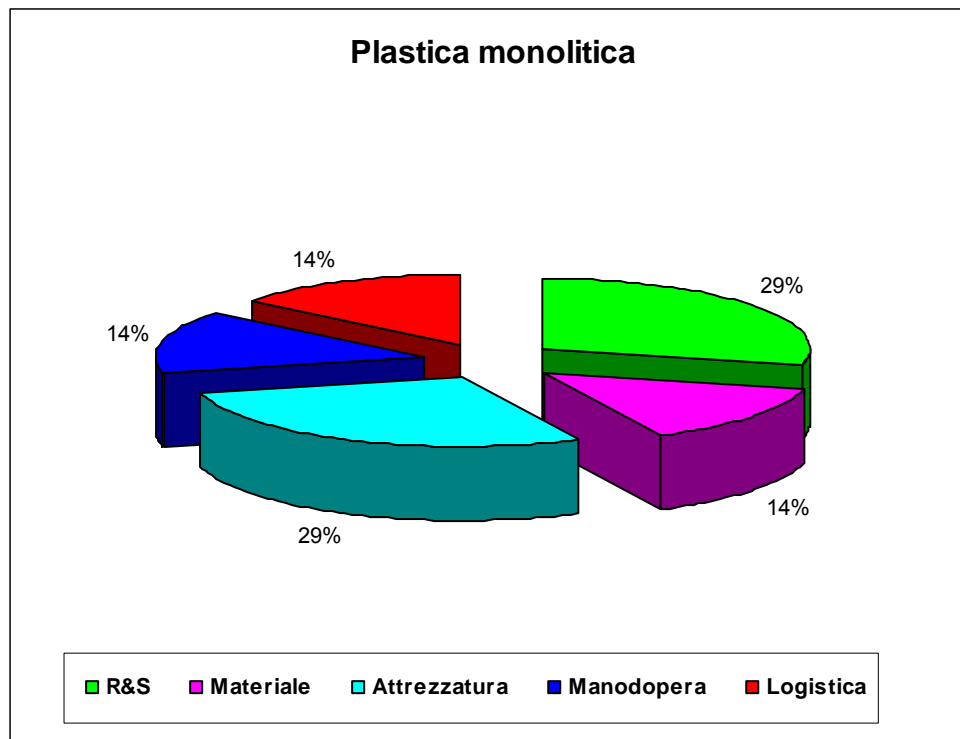
Vengono quindi di seguito rappresentati i risultati trovati anche in un grafico a colonne, da cui si deduce con immediatezza il diverso costo tra una caraffa in cristallo, una in plastica e acciaio ed una in plastica.

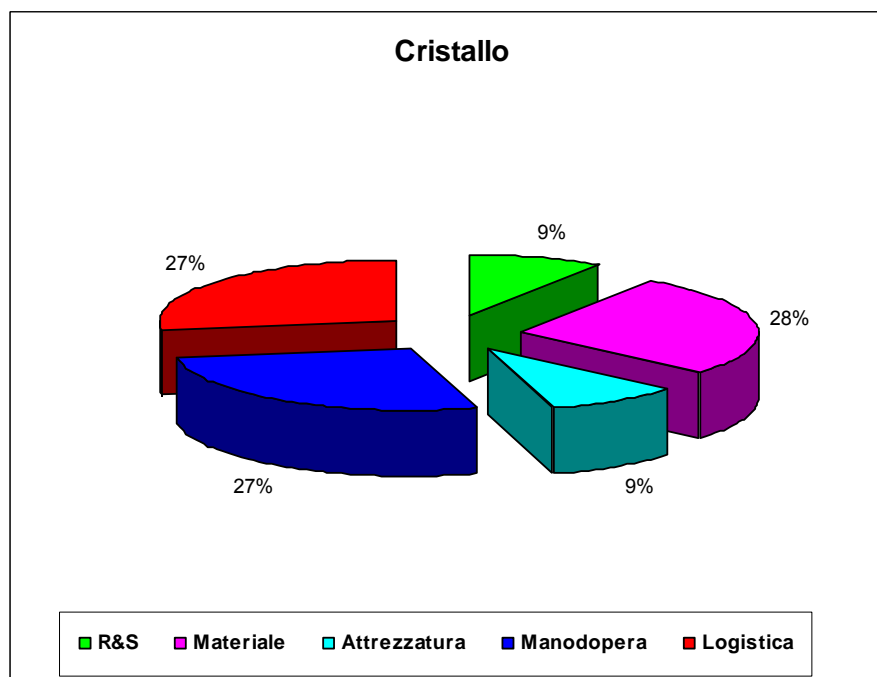
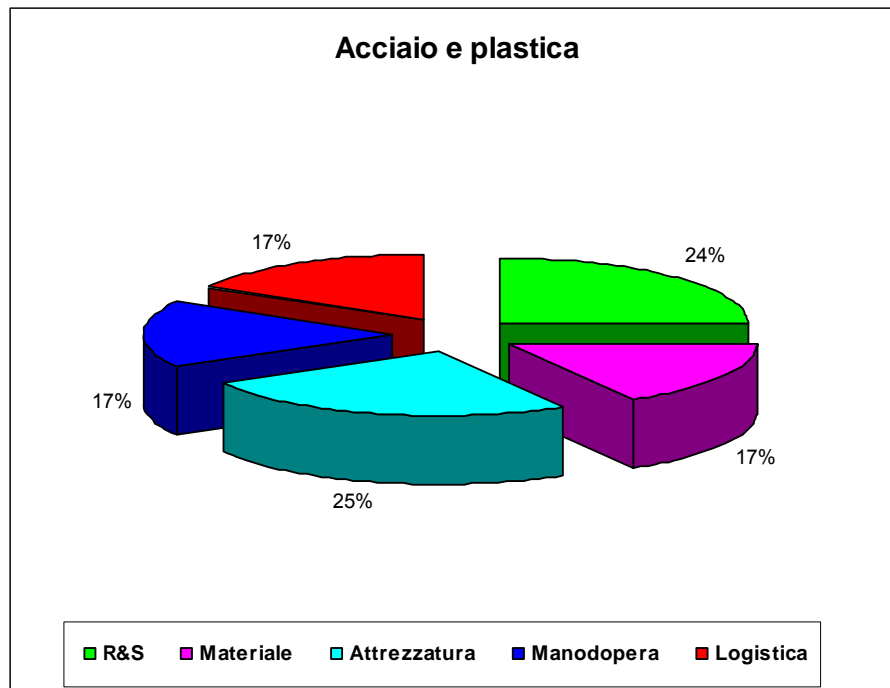


Nei successivi tre grafici a torta viene mostrata la ripartizione del costo totale tra le varie fasi per le tre tipologie di materiali.

Il colore delle varie fasi è lo stesso per facilitare eventuali confronti:

- Ricerca e sviluppo
- Materiale
- Attrezzatura
- Manodopera
- Logistica





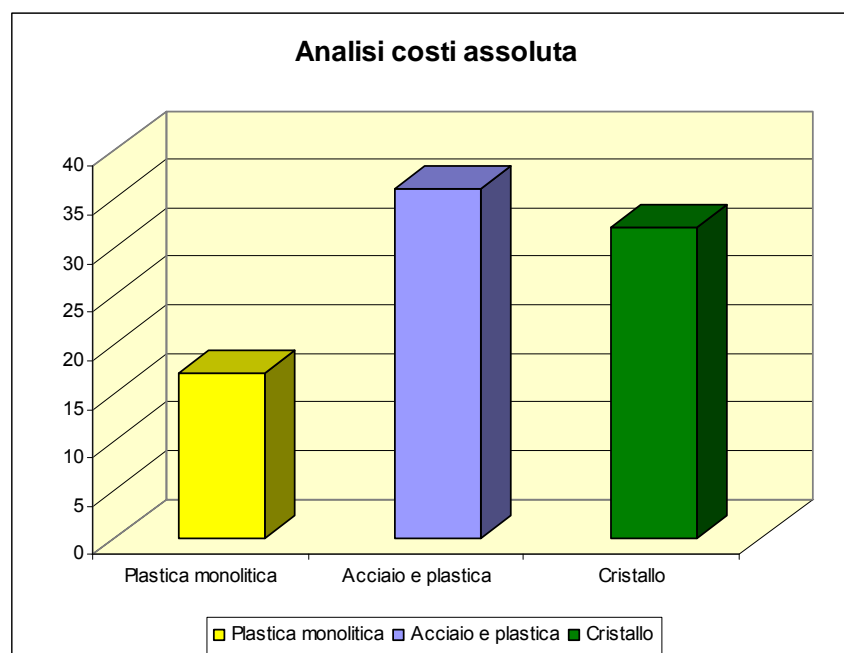
Osservando i grafici è evidente che il cristallo risulta il materiale in cui i costi sono abbastanza sbilanciati in favore di **materiale**, **manodopera** e **logistica**: ciò è anche a causa del fatto che esso risulta scarsamente industrializzabile e resta un materia prima di scarsa diffusione per numerose ragioni (fragilità, difficoltà di lavorazione, di movimentazione e stoccaggio).

Per quanto riguarda sia la plastica, sia l'accoppiata plastica ed acciaio invece i costi paiono distribuiti in maniera abbastanza uniforme tra le voci che concorrono a formare il costo totale.

Terminata questa prima analisi dei costi si passa alla seconda.

In essa la più ampia scala considerata (da 1 a 10) consente un confronto più aderente alla realtà, che in termini grossolani si può definire “assoluta”.

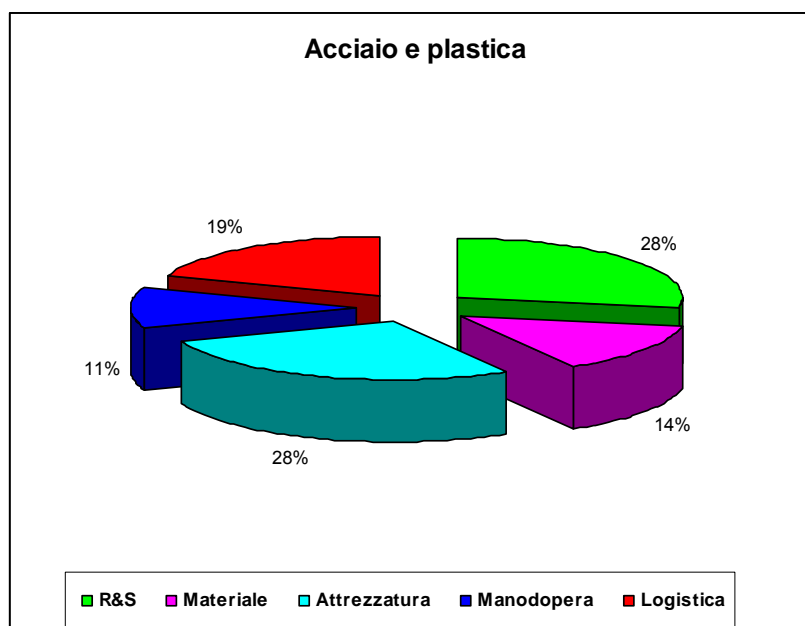
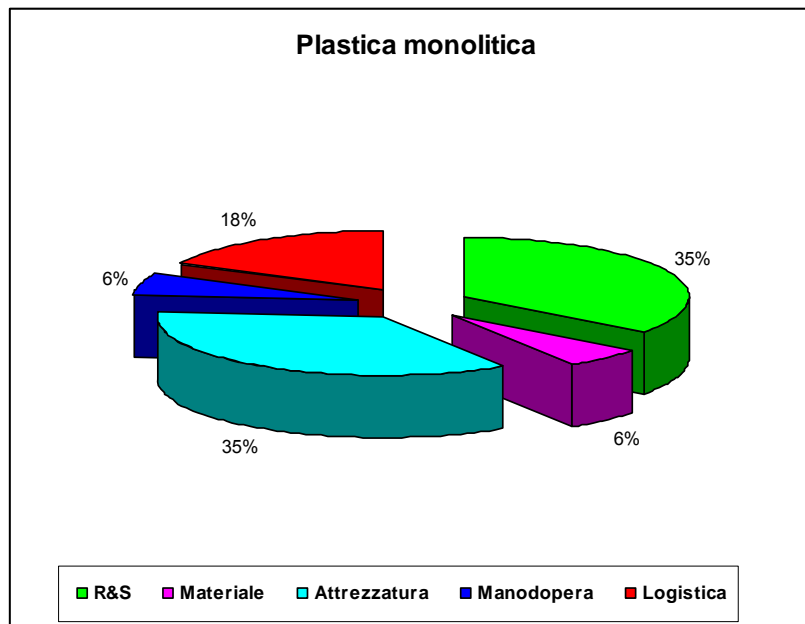
<b>Analisi dei costi assoluta</b>			
	Plastica monolitica	Acciaio e plastica	Cristallo
R&S	6	10	1
Materiale	1	5	10
Attrezzatura	6	10	1
Manodopera	1	4	10
Logistica	3	7	10
<b>Totale</b>	<b>17</b>	<b>36</b>	<b>32</b>
<b>Tot. percentuale</b>	<b>34%</b>	<b>72%</b>	<b>64%</b>



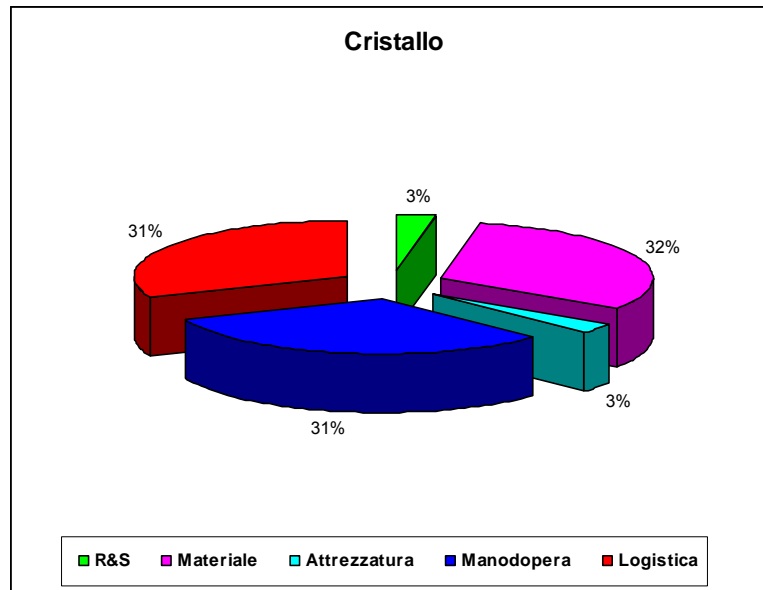
Anche in questo caso i costi più bassi sono quelli da sostenere per la plastica monolitica, mentre quelli più alti appartengono alla caraffa di caraffa di cristallo.

Si tracciano quindi i nuovi tre grafici che rappresentano la ripartizione del costo totale nelle varie fasi per i tre materiali scelti.

Analogamente al caso dell'analisi dei costi relativa, il cristallo risulta sempre un materiale in cui i costi sono abbastanza sbilanciati in favore di **materiale**, **manodopera** e **logistica**,







Per chiarezza si preferisce riassumere i dati trovati studiando i costi in entrambi i casi. Si ottiene quindi la seguente tabella:

Materiali	Primo caso	Secondo caso
Acciaio e plastica	80%	72%
Cristallo	73%	64%
Plastica monolitica	47%	34%

Dai risultati si osserva come, rispetto ad un costo massimo ipotetico pari al 100%, una caraffa in acciaio e plastica dovrebbe essere la più costosa, una in cristallo leggermente meno costosa ed una in plastica monolitica la meno costosa.

Lo scarto tra i dati trovati nel primo caso e quelli trovati nel secondo è quantificabile in circa il 10% qualunque materiale si stia considerando, da cui si deduce che l'incidenza del costo può variare in un intervallo sufficientemente ampio da giustificare il 33% di importanza dei tempi di cui si era parlato all'inizio.

Questa analisi in parallelo dei costi potrebbe giustificare sia la scarsa ricercatezza nei confronti della grafica, della forma e dei colori posta nei prodotti visti durante l'analisi della concorrenza (l'uso di materiali ricercati come acciaio e cristallo richiede cura nelle lavorazioni degli stessi e sono spesso apprezzati dalla clientela, quindi paiono appagare il requisito "grafica, forma e colori curati"), sia l'alto prezzo di vendita della caraffa dell'Alessi considerata precedentemente.

I tre capitoli in cui è stata scissa l'analisi del primo oggetto è terminata.

Il capitolo 2 è stato dedicato al metodo QFD.

Il capitolo 3 ha riguardato un'analisi dei tempi.

Nel capitolo 4 ci si è occupati di un'analisi dei costi.

Si è quindi integrato il metodo con due analisi moderne che a livello aziendale vengono sempre fatte ed in più si è integrato lo stesso trovando spazio ad esempio la voce “economico” che non aveva trovato spazio nello studio con le matrici.

Un esempio semplice e mirato potrebbe essere il seguente: quando un cliente (un’azienda che necessita ad esempio di un trattamento superficiale come può essere la zincatura o altri) chiede un preventivo ad un fornitore (colui che ha i mezzi e le conoscenze per effettuare il trattamento), esso non si accontenterà solo di ottenere una qualità soddisfacente (**requisiti tecnici**), ma anche di ottenere il trattamento superficiale in breve (**tempi**) e ad un prezzo da lui ritenuto ragionevole (**costi**).

Si proverà ora ad applicare il metodo appena visto (QFD + tempi + costi) ad un altro prodotto completamente differente dal precedente: i primi due capitoli rispecchieranno fedelmente il metodo adottato per la caraffa, il terzo seguirà un iter più complesso, il quarto infine riguarderà uno studio innovativo, non effettuato per la caraffa, nell’ambito dei sedili da automobile.

## 6.5 Analisi dei contenuti tecnici del progetto complesso (sedile di automobile)

Si consideri un sedile da conducente di un'automobile di segmento intermedio (B o C).

Questo oggetto, rispetto alla caraffa per liquidi, presenta una complessità maggiore, ma si proverà a dimostrare che è possibile seguire un approccio analogo a quello della caraffa.

Le fasi da seguire sono:

- documentare** l'ambiente con le stesse sei domande viste in precedenza e sintetizzare i bisogni del potenziale cliente;
- scrivere** una matrice di interrelazione per valutare la dipendenza e l'indipendenza dei requisiti;
- compilare** una matrice di interrelazione per valutare l'importanza dei requisiti;
- scrivere** una specifica tecnica elencando le possibili caratteristiche tecniche in grado di soddisfare i bisogni del cliente;
- scrivere** una matrice di relazione per valutare l'importanza delle caratteristiche tecniche;
- effettuare** un confronto tra le caratteristiche trovate con lo studio mediante QFD e quelle possedute dalla concorrenza.

Si risponda alle "sei domande" riguardanti il sedile:

- |                |   |  |
|----------------|---|--|
| <b>Chi?</b>    | → | uomini e donne maggiorenni di ogni altezza e peso;   |
| <b>Cosa?</b>   | → | consentire di giungere ai comandi, guidare anche per parecchie ore consecutive;                |
| <b>Dove?</b>   | → | in automobile;   |
| <b>Quando?</b> | → | in ogni condizione meteorologica e di luminosità;  |
| <b>Perché?</b> | → | per viaggi brevi e lunghi, per non affaticare la schiena, per avere buona visibilità;          |
| <b>Come?</b>   | → | ci si siede, si trovano le regolazioni in base alle caratteristiche fisiche e si resta seduti. |

Si sintetizzino le caratteristiche che un sedile può/deve possedere:

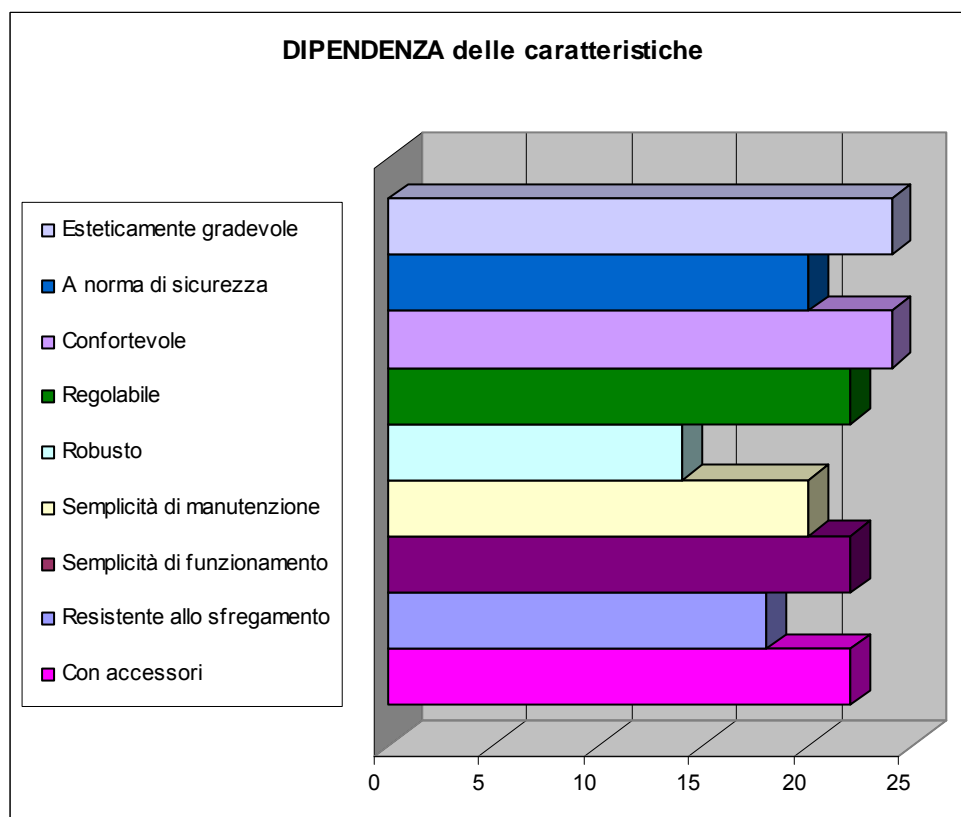
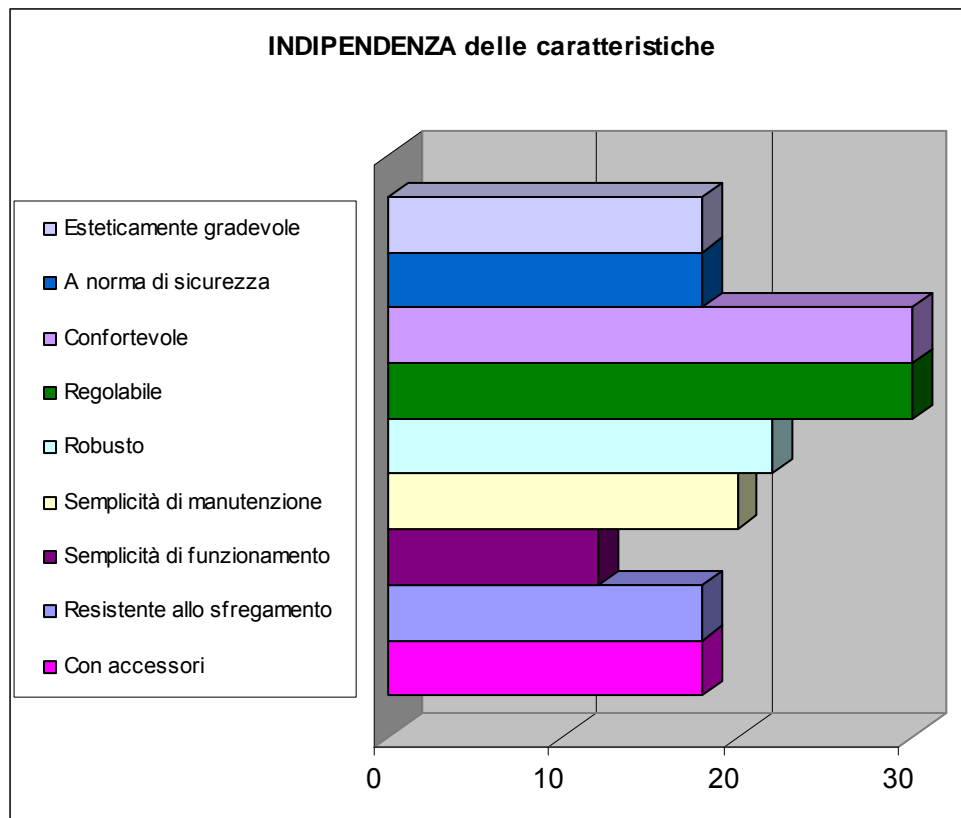
- 1 esteticamente gradevole
- 2 a norma di sicurezza
- 3 confortevole
- 4 regolabile
- 5 robusto
- 6 semplicità di manutenzione
- 7 semplicità di funzionamento
- 8 rivestimento resistente allo sfregamento
- 9 con accessori

Si tracci ora, in maniera analoga al primo oggetto, una matrice di interrelazione per definire le variabili indipendenti.

Valori nelle caselle:

- 1 se l'elemento di riga è debolmente dipendente da quello di colonna  
 3 se l'elemento di riga è mediamente dipendente da quello di colonna  
 9 se l'elemento di riga è fortemente dipendente da quello di colonna

Matrice di dipendenza/indipendenza										
CAUSE  EFFETTI	Esteticamente gradevole	A norma di sicurezza	Confortevole	Regolabile	Robusto	Semplicità di manutenzione	Semplicità di funzionamento	Resistente allo sfregamento	Con accessori	TOT
Esteticamente gradevole		3	9	1	3	3	1	1	3	24
A norma di sicurezza	1		1	3	9	1	1	1	3	20
Confortevole	3	3		9	3	1	1	3	1	24
Regolabile	1	3	9		3	1	3	1	1	22
Robusto	1	3	1	3		1	1	1	3	14
Semplicità di manutenzione	1	1	1	3	1		1	9	3	20
Semplicità di funzionamento	1	1	3	9	1	3		1	3	22
Resistente allo sfregamento	1	1	3	1	1	9	1		1	18
Con accessori	9	3	3	1	1	1	3	1		22
TOT	18	18	30	30	22	20	12	18	18	



Osservando le matrici ed i grafici si può notare che tra le nove caratteristiche non ce ne è una che spicchi per la sua dipendenza dalle altre, per cui le due che invece emergono per la loro indipendenza (**confortevole**, **regolabile**) sono anche dipendenti dalle altre. Si può osservare inoltre che la particolarità **robusto** è la meno dipendente, ma ciò risulta di scarso interesse ai fini dell'analisi, perché non parrebbe un'idea azzardata lavorare solo su di essa trascurando tutte le altre.

La seconda fase, come per la caraffa, riguarda il redigere un'altra matrice di interrelazione per stabilire l'importanza relativa delle caratteristiche del sedile.

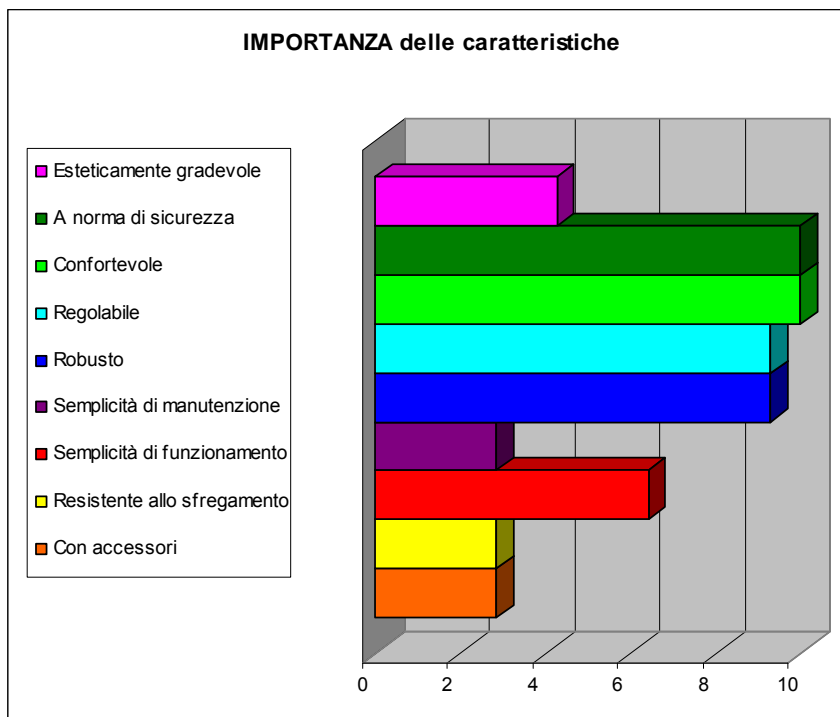
Valori nelle caselle:

**0** se l'elemento di riga ha importanza maggiore di quello di colonna

**1** se l'elemento di riga ha la stessa importanza di quello di colonna

**2** se l'elemento di riga ha importanza minore di quello di colonna

Matrice di importanza									
	Esteticamente gradevole	A norma di sicurezza	Confortevole	Regolabile	Robusto	Semplicità di manutenzione	Semplicità di funzionamento	Resistente allo sfregamento	Con accessori
Esteticamente gradevole	1	2	2	2	2	0	1	1	1
A norma di sicurezza	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Confortevole	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Regolabile	0	1	1	1	1	0	1	0	0
Robusto	0	1	1	1	1	0	1	0	0
Semplicità di manutenzione	2	2	2	2	2	1	2	1	0
Semplicità di funzionamento	1	2	2	1	1	0	1	0	1
Resistente allo sfregamento	1	2	2	2	2	1	2	1	1
Con accessori	1	2	2	2	2	2	1	1	1
<b>TOT</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Normalizzato 1-10</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>



Guardando la matrice o il grafico si osserva che le caratteristiche **a norma di sicurezza** e **confortevole** sono di massima importanza (valore pari a 10 in scala normalizzata da 1 a 10), come anche **regolabile** e **robusto** rivestono notevole importanza (valore pari a 9 in scala normalizzata da 1 a 10).

L'ultimo requisito che ottiene un punteggio discreto è la **semplicità di funzionamento** (valore pari a 6 in scala normalizzata da 1 a 10), mentre tutti gli altri vanno oscillano da 3 a 4 in scala normalizzata da 1 a 10.

A questo punto si passa alla fase successiva, cioè alla stesura della “specificazione tecnica”, cioè di COME tecnicamente si possono soddisfare i bisogni del cliente rilevati precedentemente.

Requisiti richiesti dal cliente: <b>COSA?</b>	Requisiti tecnici per soddisfare il cliente: <b>COME?</b>
<b>Esteticamente gradevole</b>	Grafica, forma e colori curati
<b>A norma di sicurezza</b>	Air-bag laterali, poggiatesta attivi, allarme sonoro/acustico cintura non allacciata
<b>Confortevole</b>	Supporto lombare, camere d'aria adattive, schiume di qualità, bracciolo centrale, riscaldamento, ventilazione interna, avvolgente
<b>Regolabile</b>	Sedile a 3 g.d.l., schienale ad 1 g.d.l., movimentazione elettrica

<b>Robusto</b>	Materiali resistenti, progettazione strutturale accurata
<b>Leggero</b>	Materiali a bassa densità, progettazione strutturale accurata
<b>Semplicità di manutenzione</b>	parti intercambiabili, materiali di alta qualità
<b>Semplicità di funzionamento</b>	Pulsanti e leve visibili facilmente accessibili e di utilizzo intuitivo, attacco cintura regolabile in altezza
<b>Resistente allo sfregamento</b>	Rivestimenti di alta qualità certificati contro l'usura
<b>Accessori</b>	Tasca posteriore porta-riviste/oggetti, televisore integrato nel poggiatesta, altoparlanti integrati, bracciolo porta-oggetti, bracciolo ad uso frigorifero

Usando i dati appena esposti è possibile impostare la matrice di interrelazione.

Per determinarla si mettono nella prima colonna i COSA, cioè i bisogni che già sono stati definiti precedentemente, e nella prima riga i COME, cioè con quali accorgimenti tecnici ci si propone di risolvere i bisogni.

Dalla “specificazione tecnica” si può eliminare sia il **televisore integrato nel poggiatesta**, sia le **casce**, sia il **bracciolo centrale ad uso frigorifero** in quanto si stanno trattando due segmenti di automobili in cui è importante mantenere un prezzo di vendita competitivo.

Si può scartare anche il **ripiano posteriore a ribalta**, in quanto esso viene montato negli abitacoli delle monovolume o delle auto di dimensioni “importanti”.

Si rimuove inoltre l'**allarme sonoro/acustico** di cintura non allacciata in quanto tutte le auto di tutti i segmenti lo montano.

Si scarta inoltre la **progettazione strutturale** accurata in quanto dovrebbe essere scontata per ragioni di sicurezza.

Infine si riassumono le caratteristiche dei rivestimenti quali **resistenza all'usura, traspirabilità, facile pulizia**, ecc. con l'espressione “**rivestimenti di qualità**”.

Usando quindi le caratteristiche appena definite e con l'aiuto dei dati rilevati nella seconda matrice (quella di dipendenza - indipendenza) è possibile impostare la matrice di interrelazione.

Per redarla si mettono, come nel caso della caraffa, nella prima colonna i COSA, cioè i bisogni che già sono stati definiti precedentemente, e nella prima riga i COME, cioè con quali accorgimenti tecnici ci si propone di risolvere i bisogni.

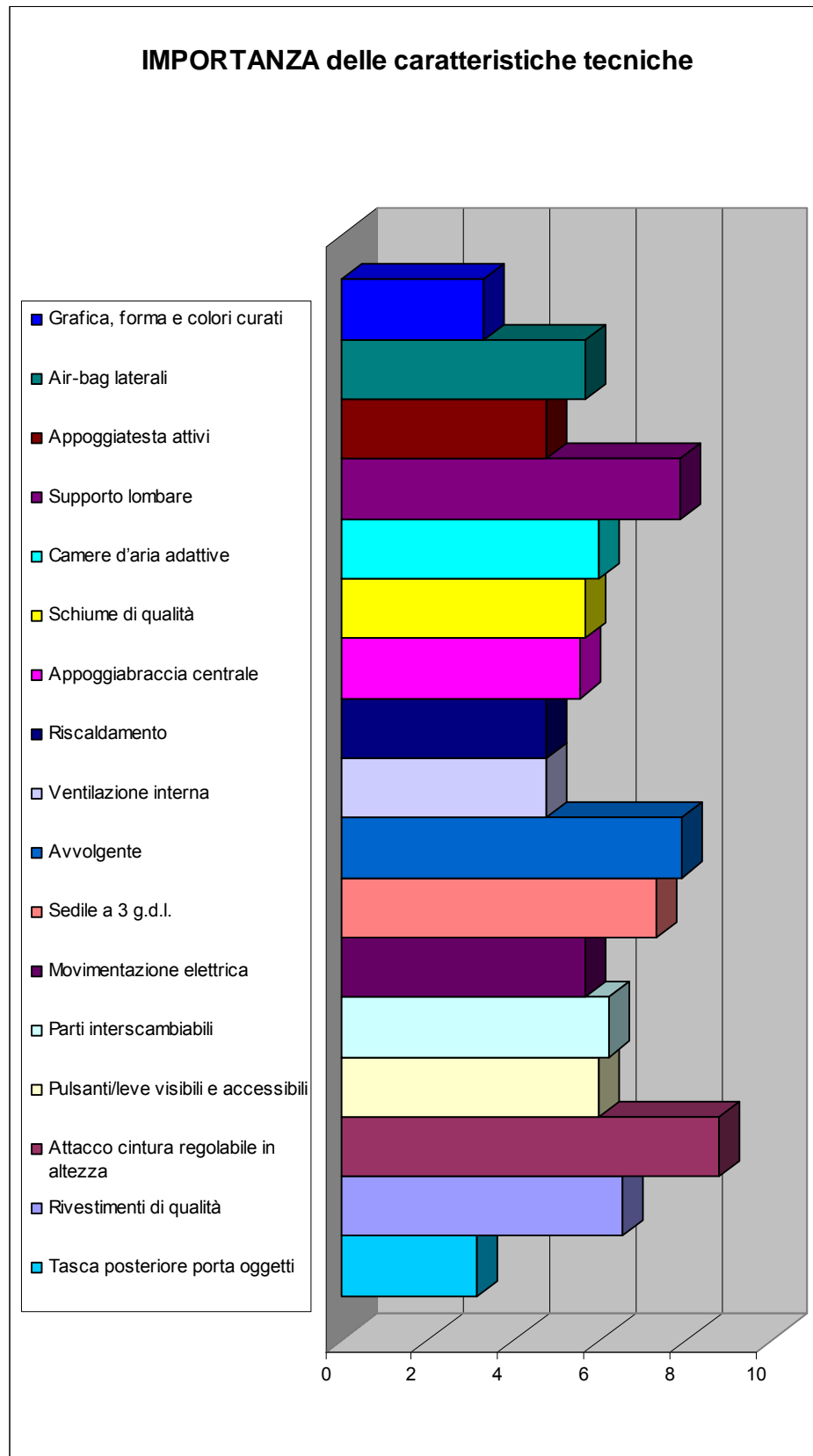
Si ricorda inoltre che nella riga “importanza tecnica assoluta” si moltiplicano i valori di importanza per i coefficienti di soddisfazione e si sommano per ogni colonna, mentre nella riga “importanza tecnica relativa” si trovano i valori in percentuale della somma totale (3308).



Valori nelle caselle:

- 1** il parametro tecnico soddisfa debolmente il requisito
- 3** il parametro tecnico soddisfa mediamente il requisito
- 9** il parametro tecnico soddisfa fortemente il requisito

Matrice di interrelazione																			
COSA	COME	IMPORTANZA	Grafica, forma e colori curati	Air-bag laterali	Poggiatesta attivi	Supporto lombare	Camere d'aria adattive	Schiume di qualità	Bracciolo centrale	Riscaldamento	Ventilazione interna	Avvolgente	Sedile a 3 g.d.l.	Movimentazione elettrica	Parti interscambiabili	Pulsanti/leve visibili e accessibili	Attacco cintura regolabile in altezza	Rivestimenti di qualità	Tasca posteriore porta oggetti
A norma di sicurezza		10	1	9	9	3	3	3	1	1	1	9	3	3	1	1	9	1	1
Confortevole		10	1	3	1	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	1	3	9	1
Regolabile		9	1	1	1	9	3	1	1	1	1	1	9	9	1	9	9	1	1
Robusto		9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Semplicità di funzionamento		7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	9	9	1	1
Esteticamente gradevole		5	9	3	1	3	3	3	3	1	1	9	1	1	3	1	1	3	3
Semplicità di manutenzione		4	3	3	3	3	1	3	1	3	3	1	3	1	9	3	1	9	1
Resistente allo sfregamento		4	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1
Con accessori		4	1	3	3	3	3	1	9	3	3	1	1	1	3	1	1	1	9
Importanza tecnica assoluta			110	188	158	260	198	188	184	158	158	262	242	188	206	198	290	216	104
Importanza tecnica relativa			3	6	5	8	6	6	6	5	5	8	7	6	6	6	9	7	3



I risultati che si ottengono dalla matrice di relazione, per ordine decrescente di importanza, sono:

<b>Valore</b>	<b>Risultati trovati</b>
<b>9%</b>	attacco cintura regolabile in altezza
<b>8%</b>	supporto lombare
<b>8%</b>	avvolgente
<b>7%</b>	sedile a 3 g.d.l.
<b>7%</b>	rivestimenti di qualità
<b>6%</b>	airbag laterali
<b>6%</b>	camere d'aria adattive
<b>6%</b>	schiume di qualità
<b>6%</b>	bracciolo centrale
<b>6%</b>	movimentazione elettrica
<b>6%</b>	parti interscambiabili
<b>6%</b>	pulsanti/leve visibili e accessibili
<b>5%</b>	poggiatesta attivi
<b>5%</b>	riscaldamento
<b>5%</b>	ventilazione interna
<b>3%</b>	grafica, forma e colori curati
<b>3%</b>	tasca posteriore porta oggetti

Analogamente all'ultima fase della prima parte si conduce un'analisi della concorrenza prendendo in considerazione il sedile montato su un modello di automobile per entrambi i segmenti (B e C) delle seguenti marche: ALFA ROMEO, AUDI, BMW, FIAT, MERCEDES e VOLKSWAGEN.

Marca	Modello segmento B	Modello segmento C
ALFA ROMEO	147	159
AUDI	A3	A4
BMW	Serie 1	Serie 3
FIAT	Bravo	Croma
MERCEDES	Classe A	Classe C
VOLKSWAGEN	Golf	Passat

Ogni marca ed ogni classe di automobile presenta una vasta serie di caratteristiche dei sedili anteriori, per cui occorre cercare di fare ordine e di mettere i dati raccolti in due matrici, una per ogni segmento.

Per quanto riguarda gli allestimenti ogni modello di automobile ne prevede vari per venire incontro alle esigenze del cliente: per semplicità di giudizio si considera l'allestimento base.

Tra le caratteristiche compilate nelle prossime tabelle con l'espressione generica "movimentazione elettrica" si intende riassumere varie configurazioni: movimento elettrico della regolazione dell'altezza del sedile e dell'inclinazione dello schienale, regolazione elettrica del supporto lombare, regolazione elettrica del movimento longitudinale del sedile e tutte le altre possibili combinazioni, sempre per rendere possibile l'analisi della concorrenza.

Codici nelle caselle:

- X** se la caratteristica di riga è posseduta dal modello base in colonna
- Opt** se la caratteristica di riga è disponibile come optional per il modello in colonna
- se la caratteristica di riga non è disponibile in alcun allestimento nel modello in colonna

**SEGMENTO B**

	ALFA ROMEO 147	AUDI A3	BMW Serie 1	FIAT Bravo	MERCEDES Classe A	VOLKSWAGEN Golf
Attacco cintura regolabile in altezza	X	X	--	X	X	X
Sensore cintura allacciata	X	X	X	X	X	X
Supporto lombare		Opt	Opt	Opt	Opt	X
Movimento sedile in altezza	X	X	X	X	X	X
Movimento sedile basculante	--	--	--	--	--	--
Poggiatesta integrato	--	--	--	--	--	--
Poggiatesta attivi in caso di incidente	--	--	--	Opt	X	Opt
Conformazione sportiva	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt
Sostegni laterali regolabili	--	--	Opt	--	--	--
Sostegno ginocchia	--	--	Opt	--	--	--
Movimentazione elettrica	--	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt
Movimentazione elettrica con memoria	--		Opt	--		--
Bracciolo centrale	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt
Airbag laterali integrati	X	X	X			X
Riscaldamento sedili	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt
Tasca posteriore porta-riviste/oggetti		Opt	Opt	Opt	Opt	Opt
Porta-oggetti sotto sedile						Opt
N° tipologie tessuti disponibili	4	3	2	7	4	4
N° tipologie pelle disponibili	4	2	1	5	1	1
N° tipologie pelle con inserti in tessuto	--	--	1	--	--	2

N° tipologie pelle con inserti in alcantara	--	1	--	--	1	1
---	----	---	----	----	---	---

**SEGMENTO C**

	ALFA ROMEO 159	AUDI A4	BMW Serie 3	FIAT Croma	MERCEDES Classe C	VOLKSWAGEN Passat
Attacco cintura regolabile in altezza	--	X	X	--	X	--
Sensore cintura allacciata	X	X	X	X	X	X
Supporto lombare	X	X	Opt	X	X	X
Camere d'aria adattive	--	--	--	--	Opt	--
Movimento sedile in altezza	X	X	X	X	X	X
Movimento sedile basculante	Opt	Opt	--	Opt	--	--
Poggiatesta integrato	X	--	--	--	Opt	--
Poggiatesta attivo in caso di collisione	X	--	--	X	Opt	X
Conformazione sportiva	Opt	Opt	Opt	--	Opt	Opt
Sostegni laterali regolabili	--	Opt	Opt	--	--	--
Sostegno ginocchia	--	Opt	Opt	--	--	--
Movimentazione elettrica	Opt	Opt	Opt	Opt	X	Opt
Movimentazione elettrica con memoria	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt
Bracciolo centrale	X	X	X	X	X	Opt
Airbag laterali integrati	X	X	X	X	X	X
Riscaldamento sedili	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt	Opt
Ventilazione sedili	--	Opt	--	--	--	--
Tasca posteriore porta-riviste/oggetti	X	X	Opt	X	X	Opt

N° tipologie tessuti disponibili	3	3	1	2	4	3
N° tipologie pelle disponibili	2	2	1	1	2	2
N° tipologie pelle con inserti in tessuto	--	--	1	1	--	--
N° tipologie pelle con inserti in alcantara	--	1	--	--	--	1

Osservando la prima matrice si possono rilevare che le principali caratteristiche per il segmento B sono:

**di serie**

regolazione altezza sedile  
 sensore cintura allacciata  
 attacco cintura regolabile in altezza  
 ari-bag laterali integrati

**optional**

supporto lombare  
 conformazione sportiva  
 movimentazione elettrica  
 bracciolo centrale  
 riscaldamento sedili  
 tasca posteriore porta-riviste/oggetti

Per quanto riguarda i rivestimenti tutte le marche danno la possibilità di scegliere tra varie tipologie di tessuti e di pelli naturali, mentre solo alcune offrono la pelle con gli inserti, cioè in corrispondenza della seduta e dello schiena, in tessuto (sensazione di fresco) o in alcantara (molto gradevole al tatto).

Alcune case automobilistiche, infine, dotano i sedili con particolari caratteristiche volte al comfort o alla sicurezza, come BMW con i sostegni laterali regolabili, con i sostegni per le ginocchia e con la movimentazione elettrica con memoria, come VOLKSWAGEN con il porta-oggetti sotto il sedile o come FIAT, MERCEDES e VOLKSWAGEN con i poggiatesta attivi in caso di incidente.

ALFA ROMEO è la marca che ha minore scelta come numero di optional.

Osservando la seconda matrice si possono rilevare che le principali caratteristiche per il segmento C sono:

**di serie**

regolazione altezza sedile  
 sensore cintura allacciata  
 supporto lombare (tranne BMW)  
 airbag laterali  
 bracciolo centrale (tranne VOLKSWAGEN)  
 tasca posteriore porta-oggetti/riviste (tranne BMW e VOLKSWAGEN)

**optional**

conformazione sportiva

movimentazione elettrica  
riscaldamento sedili

Per quanto riguarda i rivestimenti e la dotazione di particolari caratteristiche il discorso è analogo a quello fatto per il segmento A, in particolare MERCEDES rende disponibili sedili con camere d'aria adattive, AUDI e BMW con i sostegni laterali regolabili e con i sostegni per le ginocchia, ALFA e MERCEDES il poggiatesta integrato e AUDI i sedili con ventilazione.

Si mettano ora i risultati in una tabella dove **X** o **Opt.** significa che la caratteristica è presente di serie o come optional almeno in tre modelli di automobile, cioè almeno nella metà delle marche considerate.

Per quanto riguarda le caratteristiche “rivestimenti di qualità” e “schiume di qualità” essendo impossibile fare uno studio in laboratorio si suppone che esse siano caratteristiche presenti nei sedili per automobili di segmento C, ma non in quelle di segmento B, per ovvie questioni economiche.

Valore	Risultati trovati	Concorrenza segmento B	Concorrenza segmento C
9%	attacco cintura regolabile in altezza	X	---
8%	supporto lombare	Opt.	X
8%	avvolgente	Opt.	Opt
7%	sedile a 3 g.d.l.	---	Opt.
7%	rivestimenti di qualità	---	X
6%	airbag laterali	X	X
6%	camere d'aria adattive	---	---
6%	schiume di qualità	---	X
6%	bracciolo centrale	Opt.	X
6%	movimentazione elettrica	Opt.	Opt.
6%	parti interscambiabili	---	---
6%	pulsanti/leve visibili e accessibili	X	X



<b>5%</b>	poggiatesta attivi	---	X
<b>5%</b>	riscaldamento	Opt.	Opt.
<b>5%</b>	ventilazione interna	---	---
<b>3%</b>	grafica, forma e colori curati	X	X
<b>3%</b>	tasca posteriore porta oggetti	Opt.	X

Esaminando la tabella si può notare che il sedile da auto, soprattutto quelli in dotazione a quelle di segmento B, presenta ampi margini di miglioramento.

Applicando il metodo QFD al prodotto “sedile da auto” è stata trascurata la caratteristica “economico” per due ragioni:

- esso è una proprietà che è talmente dipende dalle altre e difficilmente quantificabile in questa sede che si è supposta ovvia;
- se si scoprisse che un aggravio dei costi di produzione del sedile fosse in grado di incrementare significativamente le vendite di automobili, si potrebbe anche pensare di spalmarne il costo stesso sull’intera auto, arrivando fino al caso limite di produrre sedili in perdita.

## 6.6 Analisi dei tempi del progetto complesso

Questa seconda parte segue un iter identico a quello della caraffa, e come per esso non è possibile risalire a dati più precisi di quelli usati per ragioni di segretezza industriale.

Sempre per semplicità ed immediatezza si utilizzano i diagrammi di Gantt e si suddivide l'analisi dei tempi nelle stesse otto fasi della caraffa:

- 1: analisi di fattibilità
- 2: ok a fattibilità
- 3: incarico al fornitore
- 4: progettazione e codesign
- 5: fine progettazione
- 6: lancio industriale
- 7: industrializzazione/costruzione
- 8: disponibilità componenti per produzione

Anche in questo caso nel compilare i diagrammi non è parso credibile usare un'unità di misura maggiormente dettagliata di un mese per mancanza di dati più precisi, anche se a livello industriale i diagrammi di Gantt vengono rappresentati con unità di misura di una settimana e a volte addirittura di un giorno.

Viene di seguito effettuato lo studio dei tempi per ogni caratteristica trovata con il metodo QFD in ordine decrescente d'importanza.

### Attacco cintura regolabile in altezza

Durata in mesi:	1	2	3
1) Analisi di fattibilità			
2) Ok a fattibilità	♦		
3) Incarico al fornitore	♦		
4) Progettazione/codesign			
5) Fine progettazione		♦	
6) Lancio industriale		♦	
7) Industrializzazione/costruzione			

8) Disponibilità componenti per produzione			♦
--	--	--	---

Usare un attacco della cintura regolabile in altezza significa avere la possibilità di adattare la cintura di sicurezza a persone di altezza diversa, affinché indossarla risulti il meno fastidioso possibile.

Se la cintura fosse attaccata al sedile stesso sicuramente aumenterebbero le difficoltà progettuali, ma visto che nel segmento di automobili qui considerato l'attacco è ancorato al telaio dell'abitacolo (almeno così è nei modelli visionati per l'analisi della concorrenza) si può valutare questo requisito come di basso impegno temporale.

L'**incarico al fornitore** è stato quantificato in un giorno in quanto, rispetto all'attacco fisso, si immagina che non siano richiesti particolari fornitori e che la semplicità della caratteristica stessa venga rispecchiata anche in un preventivo del fornitore redatto in tempi brevi.

### Supporto lombare

Durata in mesi:	1	2	3	4	5
1) Analisi di fattibilità					
2) Ok a fattibilità	♦				
3) Incarico al fornitore					
4) Progettazione/codesign					
5) Fine progettazione			♦		
6) Lancio industriale			♦		
7) Industrializzazione/costruzione					
8) Disponibilità componenti per produzione					♦

Un supporto lombare analogo a quelli disponibili sul mercato è costituito da una sagoma sotto la tappezzeria in grado di assecondare la curva lombare del rachide.

Esso presenta una difficoltà di grado medio (due mesi) nella fase di **industrializzazione / costruzione**, in quanto occorre intervenire nel ciclo produttivo e riorganizzarlo.

### Avvolgente

Durata in mesi:	1	2	3	4	5
1) Analisi di fattibilità					
2) Ok a fattibilità	♦				
3) Incarico al fornitore					
4) Progettazione/codesign					
5) Fine progettazione				♦	
6) Lancio industriale				♦	
7) Industrializzazione/costruzione					
8) Disponibilità componenti per produzione					♦

Un sedile avvolgente rispetto ad uno che non presenta tale conformazione è probabilmente mediamente complesso (due mesi) nella fase di **progettazione / codesign**, in considerazione del fatto che, cambiando totalmente l'estetica ed anche gli ingombri, è richiesta una progettazione accurata.

### Sedile a 3 g.d.l.

Durata in mesi:	1	2	3	4	5	6
1) Analisi di fattibilità						
2) Ok a fattibilità	♦					
3) Incarico al fornitore						
4) Progettazione/codesign						

5) Fine progettazione				♦		
6) Lancio industriale				♦		
7) Industrializzazione/costruzione						
8) Disponibilità componenti per produzione						♦

La realizzazione di un sedile con 3 gradi di libertà significa dare la possibilità al conducente di regolare la distanza dai pedali, di regolare l'altezza rispetto al pavimento dell'abitacolo e di ruotare attorno ad un asse parallelo al manto stradale e perpendicolare alla direzione di moto: quest'ultima caratteristica viene adottata per consentire al massimo numero di persone di trovare una posizione di guida congeniale.

Questo requisito presenta tempi medi (due mesi) sia per la **progettazione / codesign**, sia per l'**industrializzazione**, in quanto significa complicare sia il sistema di movimentazione del sedile sia l'assemblaggio del sedile stesso.

### Rivestimenti di qualità

Durata in mesi:	1	2	3
1) Analisi di fattibilità			
2) Ok a fattibilità	♦		
3) Incarico al fornitore			
4) Progettazione/codesign		♦	
5) Fine progettazione		♦	
6) Lancio industriale		♦	
7) Industrializzazione/costruzione			
8) Disponibilità componenti per produzione			♦

In questo caso per la progettazione si è considerato un giorno, visto che le modifiche verrebbero effettuate solo cambiando i materiali, ma lasciando inalterata la fisionomia del sedile.

Qui intervengono soprattutto fattori di costo e difficoltà di reperibilità, visto che è ardua impresa trovare altre ragioni per cui si debbano utilizzare rivestimenti di qualità bassa o medio-bassa.

### Air-bag laterali

Durata in mesi:	1	2	3	4	5	6
1) Analisi di fattibilità						
2) Ok a fattibilità	♦					
3) Incarico al fornitore						
4) Progettazione/codesign						
5) Fine progettazione				♦		
6) Lancio industriale				♦		
7) Industrializzazione/costruzione						
8) Disponibilità componenti per produzione						♦

Predisporre e montare uno o più air-bag laterali nascosti all'interno del sedile significa aumentare le difficoltà.

Questo requisito, come per il sedile a 3 g.d.l., presenta tempi medi (2 mesi) sia per la **progettazione / codesign**, sia per l'**industrializzazione**, visto che ciò significa complicare la costruzione, l'assemblaggio ed anche la schiumatura del sedile stesso.

### Camere d'aria adattive

Durata in mesi:	1	2	3	4	5	6	7	8
1) Analisi di fattibilità								

2) Ok a fattibilità	♦							
3) Incarico al fornitore								
4) Progettazione/codesign								
5) Fine progettazione					♦			
6) Lancio industriale					♦			
7) Industrializzazione/costruzione								
8) Disponibilità componenti per produzione								♦

Per le camere d'aria *adattive* si sono considerate le ipotesi peggiori (tre mesi per la **progettazione / codesign** e per l'**industrializzazione / costruzione**), in quanto rispetto all'air-bag che incide su una sola porzione dello schienale, esse invece determinano ampie parti dello schienale da modificare, con l'incremento delle complicazioni di progettazione ed assemblaggio del caso.

### Schiume di qualità

Durata in mesi:	1	2	3
1) Analisi di fattibilità			
2) Ok a fattibilità	♦		
3) Incarico al fornitore	♦		
4) Progettazione/codesign			
5) Fine progettazione		♦	
6) Lancio industriale		♦	

7) Industrializzazione/costruzione			
8) Disponibilità componenti per produzione			♦

Utilizzare schiume di qualità significa lasciare inalterata la fisionomia del sedile.  
Anche qui, come per i rivestimenti di qualità, intervengono principalmente fattori di costo.

### Bracciolo centrale

Durata in mesi:	1	2	3	4	5	6
1) Analisi di fattibilità						
2) Ok a fattibilità	♦					
3) Incarico al fornitore						
4) Progettazione/codesign						
5) Fine progettazione				♦		
6) Lancio industriale				♦		
7) Industrializzazione/costruzione						
8) Disponibilità componenti per produzione						♦

Installare un bracciolo centrale significa alterare la fisionomia del sedile, ma poiché esso presenta un funzionamento piuttosto immediato si sono supposti necessari due mesi sia per la **progettazione / codesign**, sia per l'**industrializzazione / costruzione**.



**Movimentazione elettrica**

Durata in mesi:	1	2	3	4	5	6	7	8
1) Analisi di fattibilità								
2) Ok a fattibilità	♦							
3) Incarico al fornitore								
4)Progettazione/codesign								
5) Fine progettazione					♦			
6) Lancio industriale					♦			
7) Industrializzazione/costruzione								
8) Disponibilità componenti per produzione								♦

In genere sono movimentati elettricamente i sedili delle automobili di segmento superiore a quelli qui considerati, ma spesso è possibile scegliere questa funzione come optional.

I tre mesi ritenuti necessari per la **progettazione / codesign** e per l'**industrializzazione / costruzione** paiono essere del tutto ragionevoli.

**Parti interscambiabili**

Durata in mesi:	1	2	3	4	5	6	7	8
1) Analisi di fattibilità								
2) Ok a fattibilità	♦							
3) Incarico al fornitore								
4)Progettazione/codesign								

5) Fine progettazione					♦			
6) Lancio industriale					♦			
7) Industrializzazione/costruzione								
8) Disponibilità componenti per produzione								♦

Al momento realizzare sedili con parti di esso inter-cambiabili rappresenterebbe una novità, e ciò implica il dover sopporre, per ogni fase, il tempo massimo.

### Pulsanti/leve visibili e accessibili

Durata in mesi:	1	2	3	4	5
1) Analisi di fattibilità					
2) Ok a fattibilità	♦				
3) Incarico al fornitore					
4)Progettazione/codesign					
5) Fine progettazione				♦	
6) Lancio industriale				♦	
7) Industrializzazione/costruzione					
8) Disponibilità componenti per produzione					♦

Realizzare i comandi manuali ed i pulsanti in posizione facilmente accessibile complica soprattutto la fase di *progettazione / codesign*, visto che essa è un'ottimizzazione di qualcosa che è già previsto.

**Poggiatesta attivi**

<b>Durata in mesi:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1) Analisi di fattibilità						
2) Ok a fattibilità	♦					
3) Incarico al fornitore						
4)Progettazione/codesign						
5) Fine progettazione				♦		
6) Lancio industriale				♦		
7) Industrializzazione/costruzione						
8) Disponibilità componenti per produzione						♦

Il poggiatesta attivo è un dispositivo di sicurezza passiva, ha cioè lo scopo di proteggere il conducente dal colpo di frusta: in caso di incidente esso riduce la distanza dalla testa in pochi millesimi di secondo, affinché la testa compia il più breve tragitto possibile fino al poggiatesta.

I tempi impiegati per la **progettazione / codesign** e per l'**industrializzazione / costruzione** sono previsti in due mesi ciascuno per la complessità del prodotto.

**Riscaldamento**

<b>Durata in mesi:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1) Analisi di fattibilità						
2) Ok a fattibilità	♦					
3) Incarico al fornitore						
4)Progettazione/codesign						

5) Fine progettazione				♦		
6) Lancio industriale				♦		
7) Industrializzazione/costruzione						
8) Disponibilità componenti per produzione						♦

Riscaldare l'intero sedile o anche solo una parte implica l'uso di una resistenza elettrica che non danneggi rivestimenti e schiumatura, per cui pare ragionevole pensare a due mesi sia per la **progettazione / codesign** sia per l'**industrializzazione / costruzione**.

### Ventilazione interna

Durata in mesi:	1	2	3	4	5	6	7	8
1) Analisi di fattibilità								
2) Ok a fattibilità	♦							
3) Incarico al fornitore								
4) Progettazione/codesign								
5) Fine progettazione					♦			
6) Lancio industriale					♦			
7) Industrializzazione/costruzione								
8) Disponibilità componenti per produzione								♦

La ventilazione interna ha lo scopo di evitare l'accumularsi di umidità tra il corpo ed il sedile: essa è peculiarità solo di auto di alto livello, ma viene qui considerata per l'indiscutibile utilità.

Una caratteristica simile necessita di almeno tre mesi per la **progettazione / codesign** ed altri tre per l'**industrializzazione / costruzione**.

**Grafica, forma e colori curati**

<b>Durata in mesi:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1) Analisi di fattibilità			
2) Ok a fattibilità	♦		
3) Incarico al fornitore	♦		
4)Progettazione/codesign			
5) Fine progettazione		♦	
6) Lancio industriale		♦	
7) Industrializzazione/costruzione			
8) Disponibilità componenti per produzione			♦

Curare la parte grafica del sedile senza occuparsi di quella interna implica studiare nuove soluzioni di design, ma entro limiti definiti da tutte le altre caratteristiche (le dimensioni dipendono ovviamente dalle guide scorrevoli e dall'abitacolo): per questa ragione i tempi studiati qui sono ridotti al minimo.

**Tasca posteriore porta oggetti**

<b>Durata in mesi:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1) Analisi di fattibilità				
2) Ok a fattibilità	♦			
3) Incarico al fornitore				
4)Progettazione/codesign				

5) Fine progettazione			♦	
6) Lancio industriale			♦	
7) Industrializzazione/costruzione				
8) Disponibilità componenti per produzione				♦

Applicare una tasca posteriore porta-oggetti significa aggiungere una parte senza stravolgere il telaio del sedile: ipotizzare che ogni fase richieda un mese pare essere una scelta aderente alla realtà.

Si riassumano i risultati trovati con il metodo QFD, con l'analisi della concorrenza e con l'analisi dei tempi:

Imp.	Caratteristica	Concorrenza segmento B	Tempo in mesi
9%	Attacco cintura regolabile in altezza	X	3
8%	Supporto lombare	Opt.	5
8%	Avvolgente	Opt.	5
7%	Sedile a 3 g.d.l.	---	6
7%	Rivestimenti di qualità	---	3
6%	Air-bag laterali	X	6
6%	Camere d'aria adattive	---	8
6%	Schiume di qualità	---	3
6%	Bracciolo centrale	Opt.	6
6%	Movimentazione elettrica	Opt.	8

<b>6%</b>	Parti interscambiabili	---	<b>8</b>
<b>6%</b>	Pulsanti/leve visibili e accessibili	X	<b>5</b>
<b>5%</b>	Poggiatesta attivo	---	<b>6</b>
<b>5%</b>	Riscaldamento	Opt.	<b>6</b>
<b>5%</b>	Ventilazione interna	---	<b>8</b>
<b>3%</b>	Grafica, forma e colori curati	X	<b>3</b>
<b>3%</b>	Tasca posteriore porta oggetti	Opt.	<b>4</b>

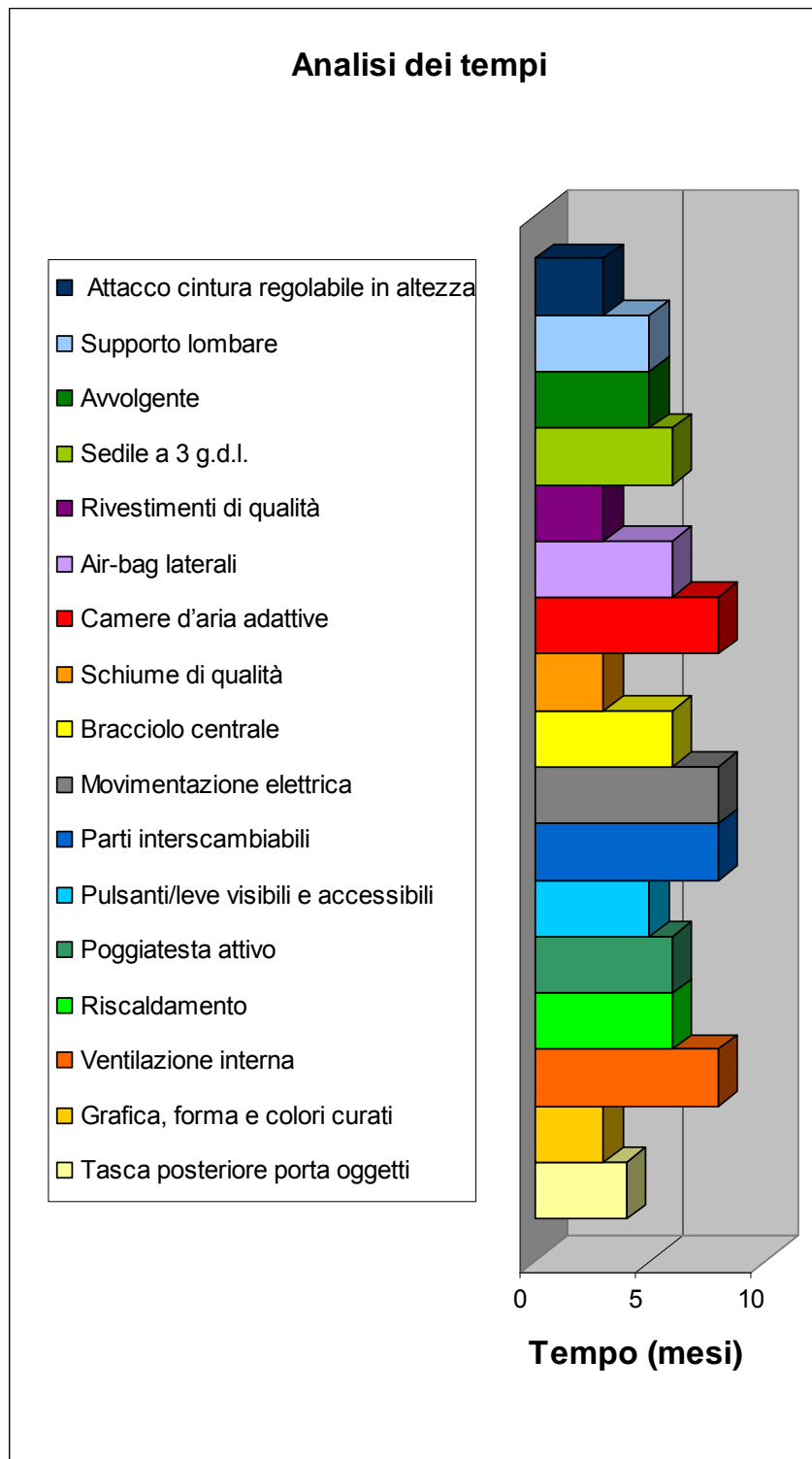
Dalla tabella si può notare che il metodo seguito fino ad ora ha dato risultati abbastanza uniformi.

Le prime sei caratteristiche in ordine di importanza richiedono un tempo di realizzazione che va da un minimo di tre mesi fino ad un massimo di sei: di questi requisiti, sulla maggioranza delle automobili della concorrenza (per la precisione su almeno la metà delle automobili), due sono di serie, altri due sono optional e gli ultimi non esistono.

Si potrebbe quindi considerare già innovativo un sedile che presenti queste sei caratteristiche, senza che ci sia nulla di infattibile dal punto di vista temporale (costi permettendo).

Nell'applicazione del metodo QFD non si è tenuto particolarmente conto né della normativa sulla sicurezza negli abitacoli delle vetture stradali, né delle prescrizioni a norma di legge di alcune caratteristiche, né dell'ergonomia, perché si immagina che in fase di fattibilità si ragioni a grandi linee.

Si estragga ora il grafico dei tempi per realizzare le caratteristiche:



Dall'osservazione del solo grafico si può notare come i quattro requisiti che hanno tempi di realizzazione più lunga (camere d'aria adattive, movimentazione elettrica, parti intercambiabili e ventilazione interna) sono caratteristiche piuttosto complesse che probabilmente presentano anche un alto costo di produzione:



infatti nella maggioranza delle automobili di segmento B sul mercato (a parte la movimentazione elettrica che è optional) non sono disponibili né di serie né come optional.

## 6.7 Analisi dei costi del progetto complesso

L'analisi dei costi del sedile si presenta sicuramente più complessa che per la caraffa sia perché il prodotto è costituito da numerosi materiali che richiedono differenti processi tecnologici, sia perché esso necessita anche di uno dimensionamento del telaio del sedile stesso.

Da queste osservazioni si deduce che sarà necessario ricorrere ad innumerevoli approssimazioni e semplificazioni per poter effettuare uno studio "cartaceo".

Particolarmente importante è chiarire che un sedile è sottoposto principalmente a vibrazioni durante la sua vita e che il dimensionamento qui supposto può essere uno strumento valido solo come base di partenza, per capire le dimensioni di massima ed i comportamenti dei materiali.

Si specifica inoltre che in questo elaborato si effettua uno studio solo sul costo del materiale che compone il telaio del sedile e non sulla schiumatura, non sugli optional e neppure sui sistemi di movimentazione del sedile.

I vari passaggi per giungere all'obiettivo dell'analisi dei costi sono:

- calcolare le forze massime agenti sul sedile
- compiere un'analisi statica
- effettuare un'analisi considerando le forze dinamiche
- trovare la massima tensione agente sul telaio
- ipotizzare vari tubi di diverso materiale, diametro e spessore e scegliere quelli che presentano un tensione di snervamento pari all'incirca a quella di sollecitazione
- per ogni materiale calcolare il peso totale del telaio e valutarne il costo
- confrontare graficamente le caratteristiche dei diversi materiali.

### *CALCOLO FORZE AGENTI SUL SEDILE*

Quando il veicolo è fermo l'unica forza agente sul sedile risulta essere la forza peso ( $F_p$ ) causata dalla massa del conducente.

Quando il veicolo è in accelerazione sono presenti sia la  $F_p$  sia la forza d'accelerazione ( $F_{acc}$ ).

Quando il veicolo affronta una curva sono presenti invece sia la  $F_p$ , sia la forza centrifuga ( $F_{centr}$ ).

### *CALCOLO $F_p$*

Ipotesi:

supporre la massa del conducente pari a 75 kg;

prendere un coefficiente di sicurezza ( $CS=2$ ) piuttosto basso, in quanto si postuleranno ipotesi molto conservative durante il calcolo delle forze;

considerare un'accelerazione di gravità media pari a  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

Il calcolo della forza peso risulta quindi:

$$F_p = m \cdot g \cdot CS = 75 \cdot 9.8 \cdot 2 = 1470 \text{ N}$$

**CALCOLO  $F_{acc}$** 

Ipotesi:

supporre l'auto in grado di accelerare da 0 a 100 km/h in 8 secondi, visto che questa è un'accelerazione plausibile nelle vetture di segmento medio-basso;  
sempre un individuo di massa pari a 75 kg;  
sempre un coefficiente di sicurezza pari a 2.

Anche qui il calcolo risulta facile.

Si trasforma la velocità da km/h a m/s:

$$v = 100 \text{ km/h} = 100 / 3.6 = 27.7 \text{ m/s}$$

Si ipotizza per semplicità un moto uniformemente accelerato e si calcola l'accelerazione:

$$a = v / t = 27.7 / 8 = 3.47 \text{ m/s}^2$$

Si trova infine la forza d'accelerazione con i dati calcolati precedentemente:

$$F_{acc} = CS \cdot m \cdot a = 2 \cdot 75 \cdot 3.47 = 520.5 = 520 \text{ N}$$

**CALCOLO  $F_{centr}$** 

Per calcolare la forza centrifuga agente sul sedile occorre prima stimare l'accelerazione centrifuga.

Si ipotizzi per semplicità che le curve stradali siano degli archi di circonferenza perfetti (in realtà non è esattamente così, visto che le curve vengono studiate per limitare la forza centrifuga).

Esiste una tabella usata nella costruzione delle strade che impone

per una velocità di progetto pari a 90 km/h un raggio minimo pari a 339 m

per una velocità di progetto pari a 70 km/h un raggio minimo pari a 178 m

per una velocità di progetto pari a 40 km/h un raggio minimo pari a 45 m

Si trasforma quindi nuovamente l'unità di misura delle velocità da km/h a m/s, si trovano le accelerazioni centrifughe con la formula  $a_{centr} = v / r^2$  e si inseriscono i dati nella seguente tabella:

$v_{progetto}$ [km/h]	$r_{min}$	$v_{progetto}$ [m/s]	$a_{centr}$ [m/s <sup>2</sup> ]
90	339	25	1.8
70	178	19.4	2.1
40	45	11.1	2.7

Ipotesi:

velocità di progetto non rispettate dai conducenti, per cui se ad esempio si raddoppia la velocità di progetto si trova, nei tre casi della tabella un  $a_{centr}$  che varia da 7.4 a 10.9 m/s<sup>2</sup>;  
sempre un individuo di massa pari a 75 kg;

sempre un'accelerazione di gravità media pari a  $9.8 \text{ m/s}^2$ ;  
sempre un coefficiente di sicurezza pari a 2.

Si calcola infine la forza centrifuga agente sul sedile:

$$F_{\text{centr}} = CS \cdot m \cdot a_{\text{centr}} = 2 \cdot 75 \cdot 9.8 = 1470 \text{ N}$$

### ***CALCOLO REAZIONI VINCOLARI E RELATIVI DIAGRAMMI***

Le tre forze appena calcolate risultano quindi:

$$F_p = 1470 \text{ N}$$

$$F_{\text{acc}} = 520 \text{ N}$$

$$F_{\text{centr}} = 1470 \text{ N}$$

Ovviamente la forza peso risulta diretta sempre verso il basso, mentre la forza di accelerazione e quella centrifuga cambiano verso a seconda che si stia accelerando o decelerando, o curvando verso sinistra o verso destra.

Si suddivide lo studio in due casi:

**forze statiche**

**forze dinamiche**

visto che è richiesta una resistenza strutturale sia mentre l'automobile risulta parcheggiata, sia durante la marcia.

Ognuno dei due casi a sua volta viene studiato nei tre piani:

**piano x – z**

**piano y – z**

**piano y – z**

L'asse x è diretto verso il senso di marcia, l'asse z è diretto verso l'alto, mentre l'asse y è diretto verso la destra di un ipotetico osservatore frontale al sedile.

Per ognuno dei casi precedenti si suppongono tre configurazioni:

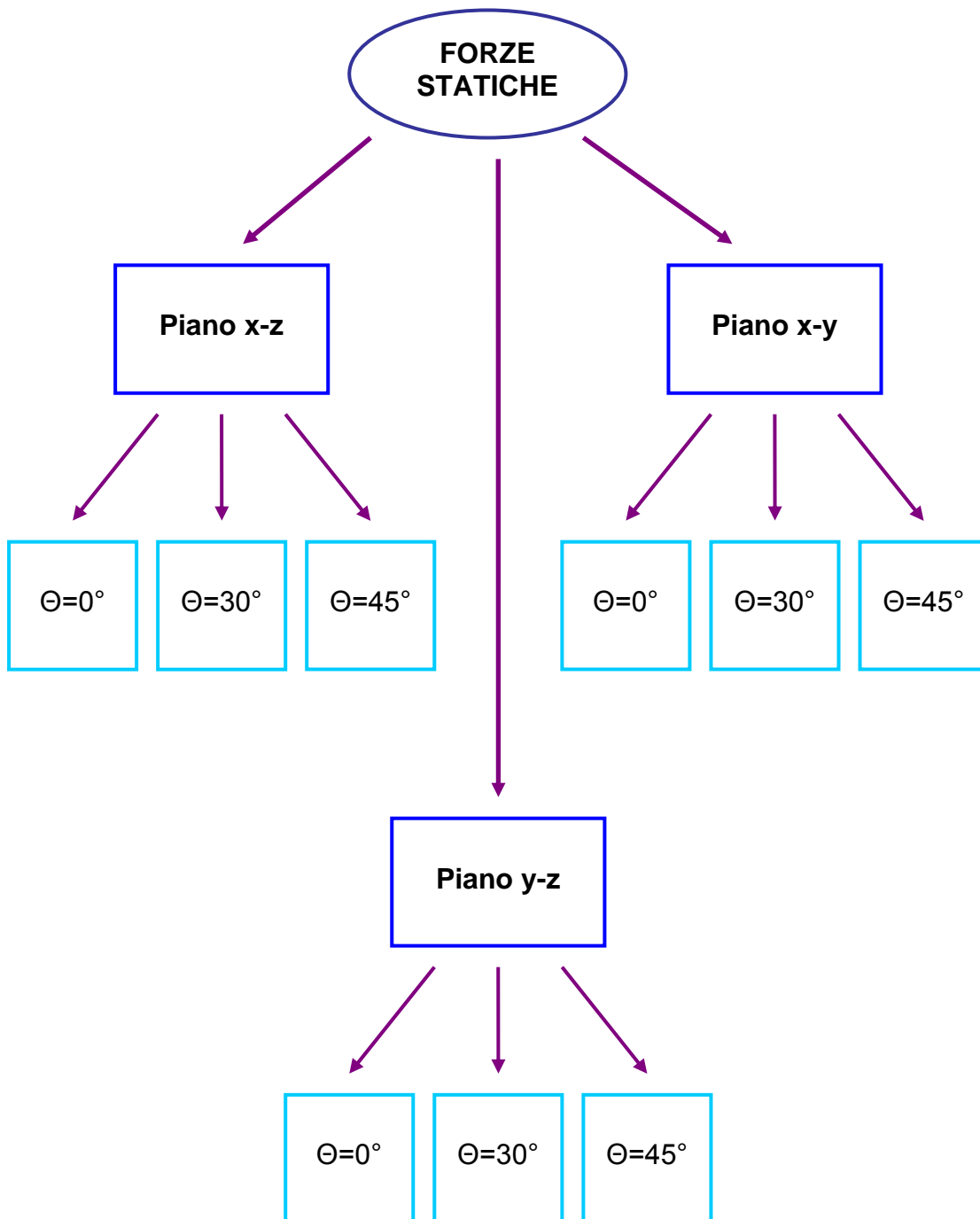
schienale verticale ( $\theta = 0^\circ$ )

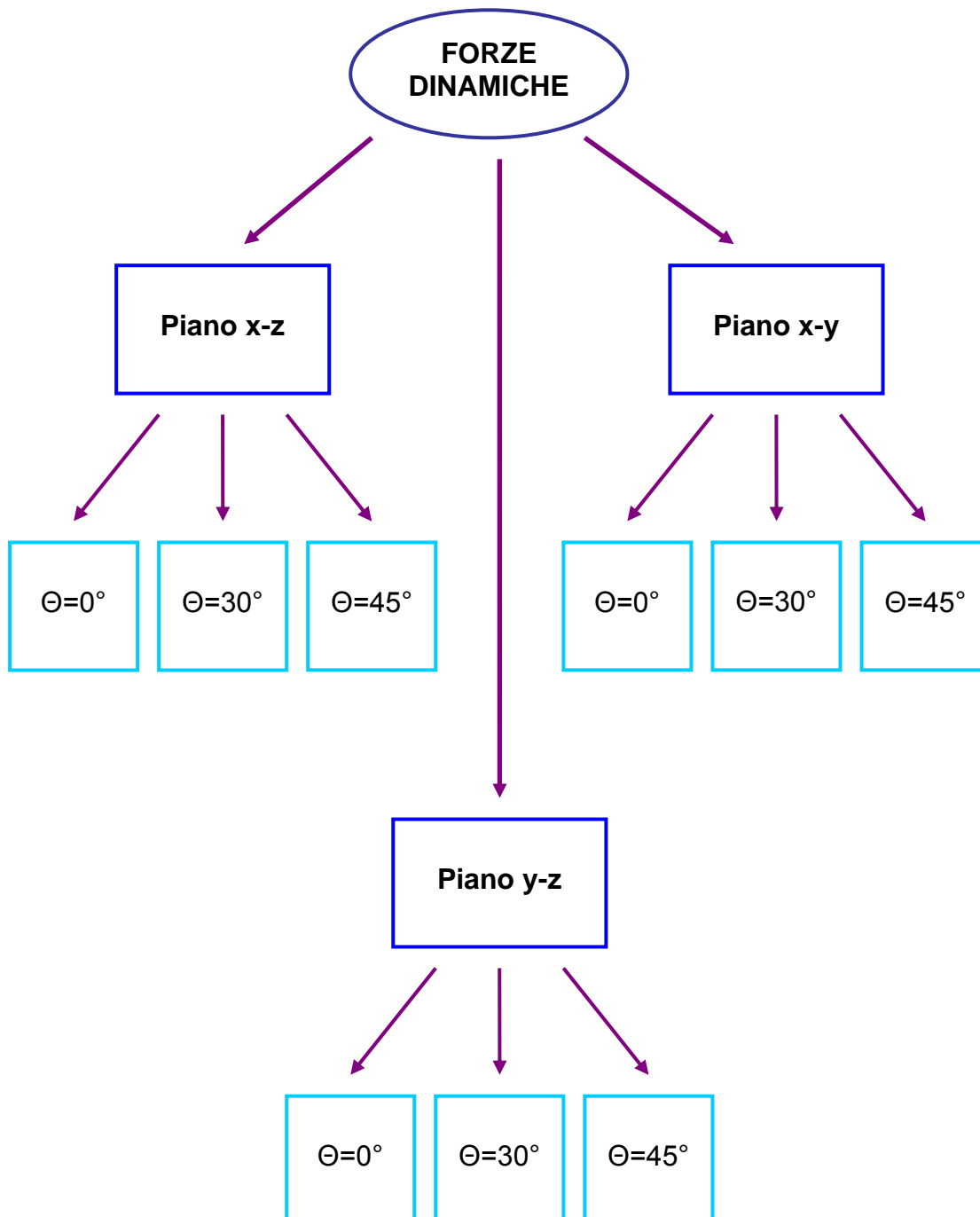
schienale mediamente inclinato rispetto alla verticale ( $\theta = 30^\circ$ )

schienale fortemente inclinato rispetto alla verticale ( $\theta = 45^\circ$ )

Per vedere cosa rappresenti l'angolo  $\theta$  si osservi il disegno a pagina 104.

Si preferisce, per chiarezza espositiva, riassumere con due schemi il procedimento seguito nel calcolo delle reazioni vincolari:



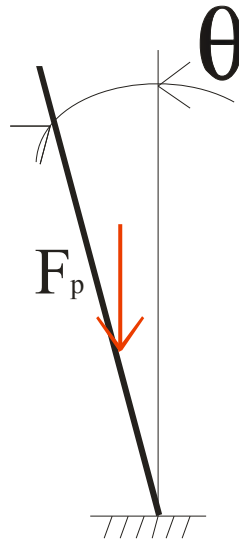


**FORZE STATICHE - piano  $x-z$** 

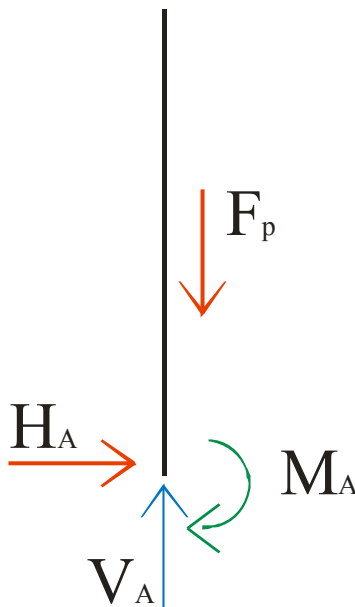
In questo caso la  $F_p$  che si scarica sulla parte dove ci si siede può essere trascurata in quanto, poiché il sedile è ancorato al telaio dell'automezzo mediante due guide, si suppone che esso non abbia flessione nei tubolari del sedile stesso.

In teoria sullo schienale in posizione verticale non si sviluppa alcuna reazione, mentre per  $\theta = 30^\circ$  e per  $\theta = 45^\circ$  sì, a causa di una frazione della  $F_p$  agente sullo schienale.

Poiché risulta molto difficoltoso fare una stima del punto di applicazione di questa forza e dell'entità della stessa, si ipotizzi in maniera molto conservativa che essa sia pari al 100% della  $F_p$  e che sia applicata in un punto pari ad un terzo dell'altezza dello schienale.

**Schienale con  $\theta = 0^\circ$** 

Per un sedile verticale le reazioni agenti sul punto inferiore dello schienale risultano:



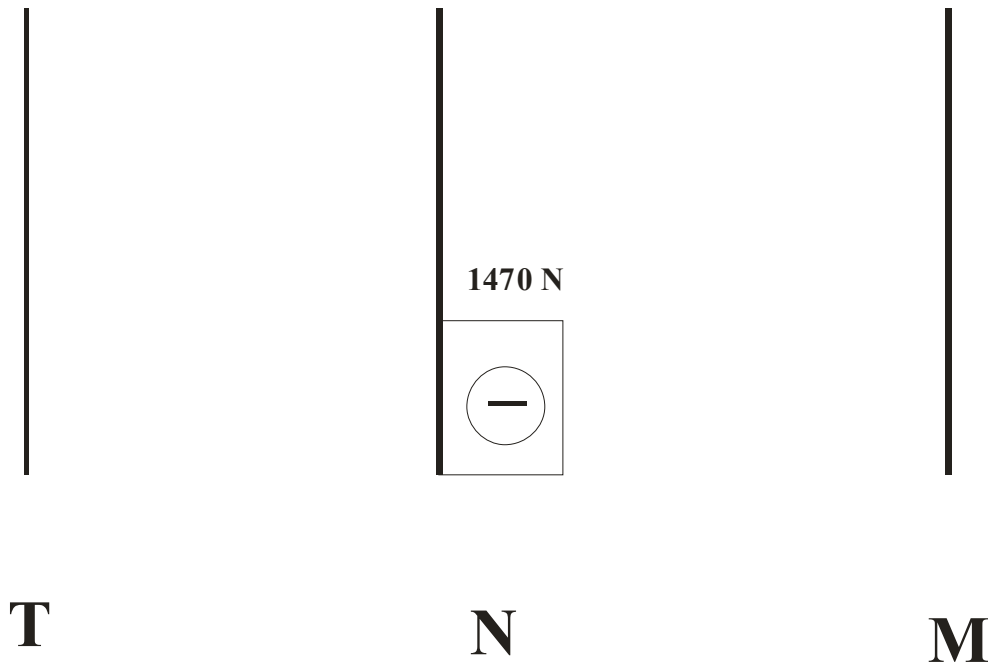
Eseguendo i calcoli si trova:

$$H_A = 0$$

$$V_A = F_p = 1470 \text{ N}$$

$$M_A = 0$$

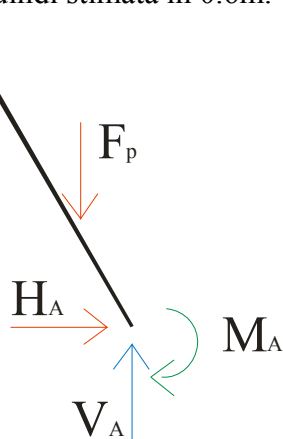
Utilizzando i dati trovati è possibile tracciare i diagrammi delle reazioni:



### Schienale con $\theta = 30^\circ$

Con l'aumentare dell'inclinazione dello schienale indietro nasce un momento proporzionale al braccio della forza peso per la forza peso stessa.

Per ipotizzare delle misure realistiche si sono prese in considerazione quelle del sedile che mi sono procurato: l'altezza dello schienale è stata quindi stimata in 0.6m.





Eseguendo i calcoli si trova:

$$H_A = 0$$

$$V_A = F_p = 1470 \text{ N}$$

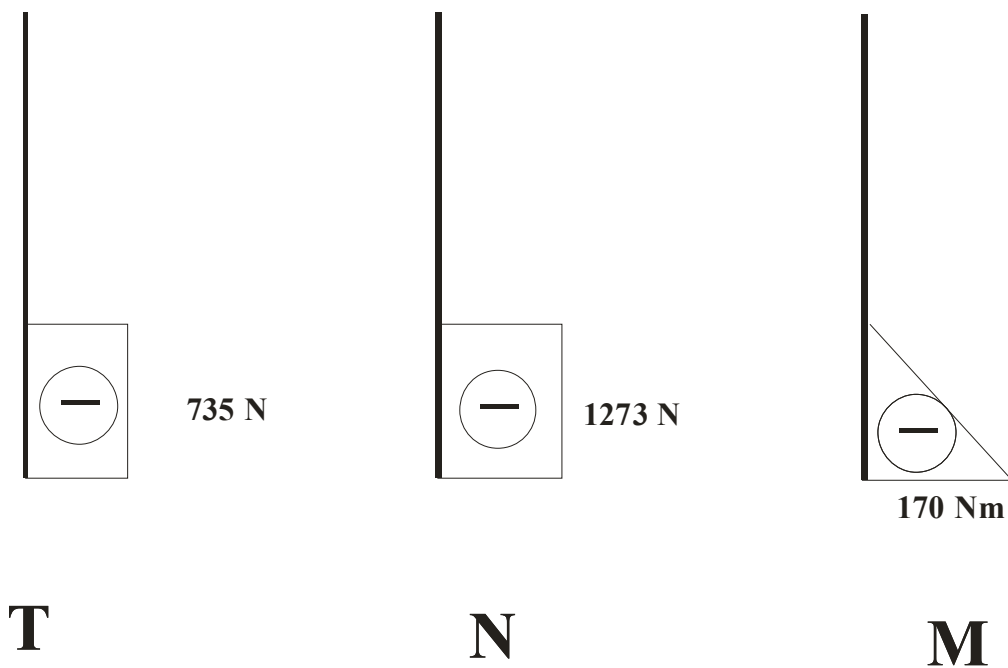
$$M_A = F_p \cdot h/3 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 1470 \cdot 0.2 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 169.7 \approx 170 \text{ Nm}$$

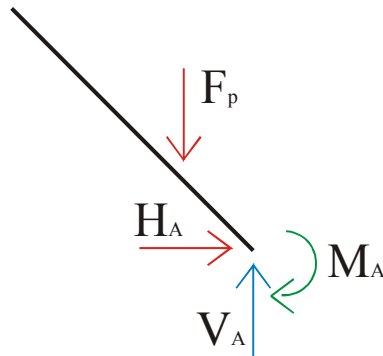
Si calcolino le reazioni tangenti e normali allo schienale:

$$T = F_p \cdot \sin 30^\circ = 735 \text{ N}$$

$$N = F_p \cdot \cos 30^\circ = 1273 \text{ N}$$

Facendo uso dei dati trovati si possono tracciare i diagrammi delle reazioni:



**Schienale con  $\theta = 45^\circ$** 

In questo caso, rispetto a quello precedente dello schienale inclinato di  $30^\circ$ , il momento è superiore di circa il 50%

Eseguendo i calcoli si trova:

$$H_A = 0$$

$$V_A = F_p = 1470 \text{ N}$$

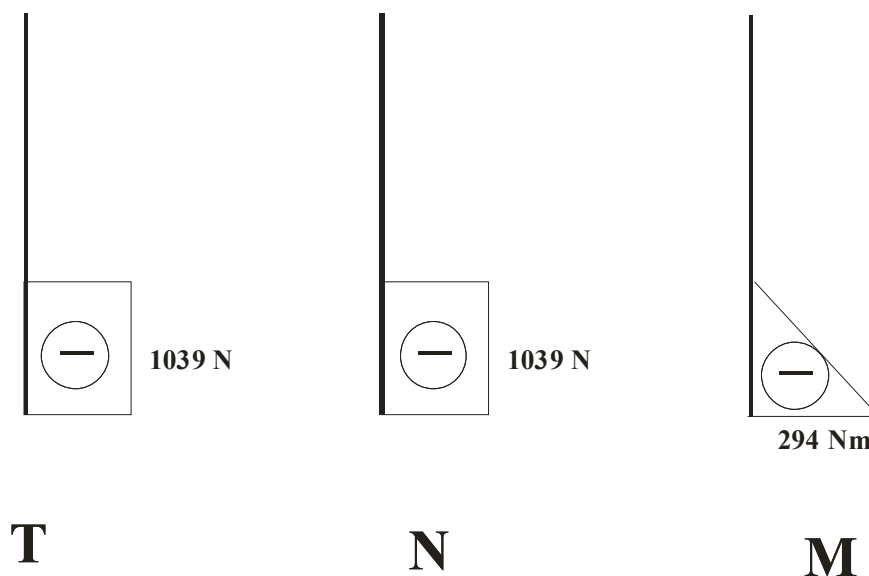
$$M_A = F_p \cdot h/3 \cdot \cos 45^\circ = 1470 \cdot 0.2 \cdot \cos 45^\circ = 294 \text{ Nm}$$

Si calcolino le reazioni tangenti e normali allo schienale:

$$T = F_p \cdot \sin 45^\circ = 1039.4 \approx 1039 \text{ N}$$

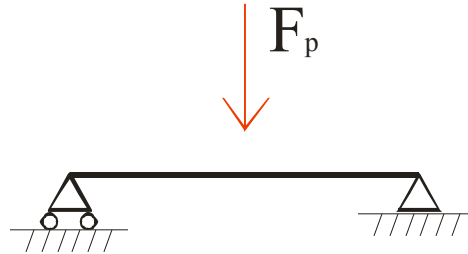
$$N = F_p \cdot \cos 45^\circ = 1039.4 \approx 1039 \text{ N}$$

Impiegando i dati trovati si possono tracciare i diagrammi delle reazioni:



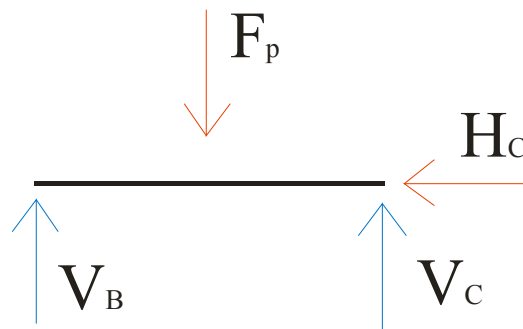
**FORZE STATICHE - piano  $y-z$** 

Si schematizzano le guide del sedile viste frontalmente come un carrello ed una cerniera: il fatto che esse siano continue non viene considerato per semplicità di calcoli. Si suppone la forza peso applicata esattamente nel centro del montante orizzontale.



**Schienale**     con  $\theta = 0^\circ$   
                       con  $\theta = 30^\circ$   
                       con  $\theta = 45^\circ$

Qualunque sia la configurazione dello schienale la forza peso la si immagina scaricata sul montante orizzontale, per cui in questo caso è sufficiente trovare le reazioni una volta soltanto.



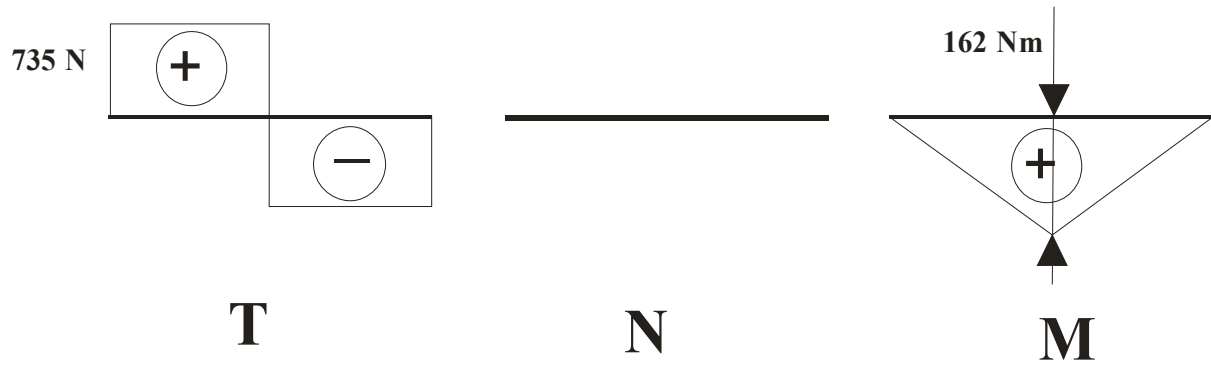
Eseguendo i calcoli si trova:

$$H_C = 0$$

$$V_B = V_C = F_p / 2 = 1470 / 2 = 735 \text{ N}$$

$$M_{\max} = V_B \cdot l = 735 \cdot 0.22 = 162 \text{ Nm}$$

Usando i dati trovati si possono tracciare i diagrammi delle reazioni:

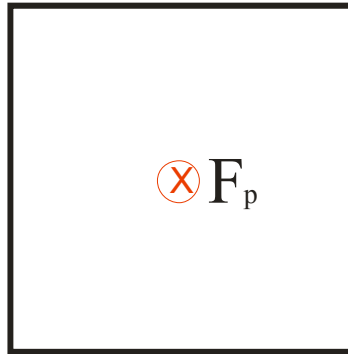


Tramite l'osservazione dei diagrammi si trova quindi una flessione abbastanza limitata nella parte centrale del montante.

**FORZE STATICHE - piano  $x - y$** 

In questo piano, nella configurazione statica, l'unica forza presente è la forza peso che, essendo diretta verso il basso risulta inutile ai fini dell'indagine.

Per completezza si rappresenta anche questa condizione, con la consueta ics cerchiata che rappresenta una forza "entrante" nel foglio.



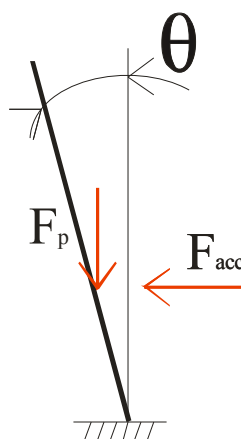
**Schienale**     **con  $\theta = 0^\circ$**   
                      **con  $\theta = 30^\circ$**   
                      **con  $\theta = 45^\circ$**

In questo piano, qualsiasi sia l'inclinazione dello schienale rispetto alla verticale, la forza peso risulta entrante nel piano del foglio, per cui non si hanno reazioni nel piano stesso.

**FORZE DINAMICHE - piano  $x - z$** 

Analogamente a prima si trascura la parte dove ci si siede per la presenza di due guide, ma di contro occorre considerare la presenza della forza di accelerazione, che può essere immaginata applicata nel baricentro del corpo.

Definirne esattamente la posizione non è cosa di poco conto, per cui si immaginerà che il baricentro si trovi sempre ad un terzo dell'altezza dello schienale in posizione verticale a partire dal piano rappresentato dal sedile.

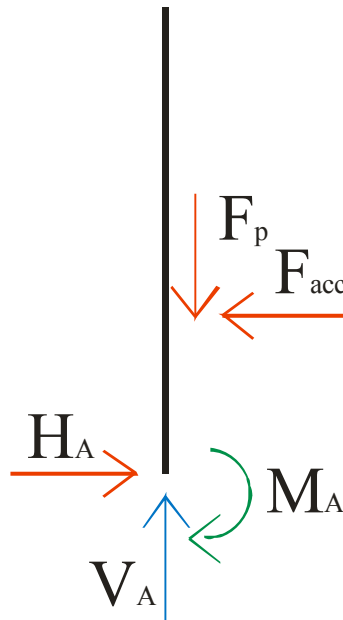


Questa ipotesi è da ritenersi conservativa in virtù del fatto che quanto più la forza è applicata lungo l'asse z in un punto lontano dall'origine, tanto più aumenta il momento flettente applicato al tubo, e la Scienza delle Costruzioni insegna che quasi sempre la sollecitazione più pericolosa è appunto il momento flettente. Nella realtà il baricentro dovrebbe essere posizionato un po' più in basso di un terzo, soprattutto se lo schienale reclina all'indietro.

### Schienale con $\theta = 0^\circ$

Naturalmente il caso più favorevole risulta quello con lo schienale verticale, per la presenza di un momento alla base dello schienale stesso provocato solamente dalla forza peso.

Verranno trascurate le brusche decelerazioni, dovute ad esempio ad incidente stradale, per non appesantire la trattazione: si è sempre nella fase di fattibilità.



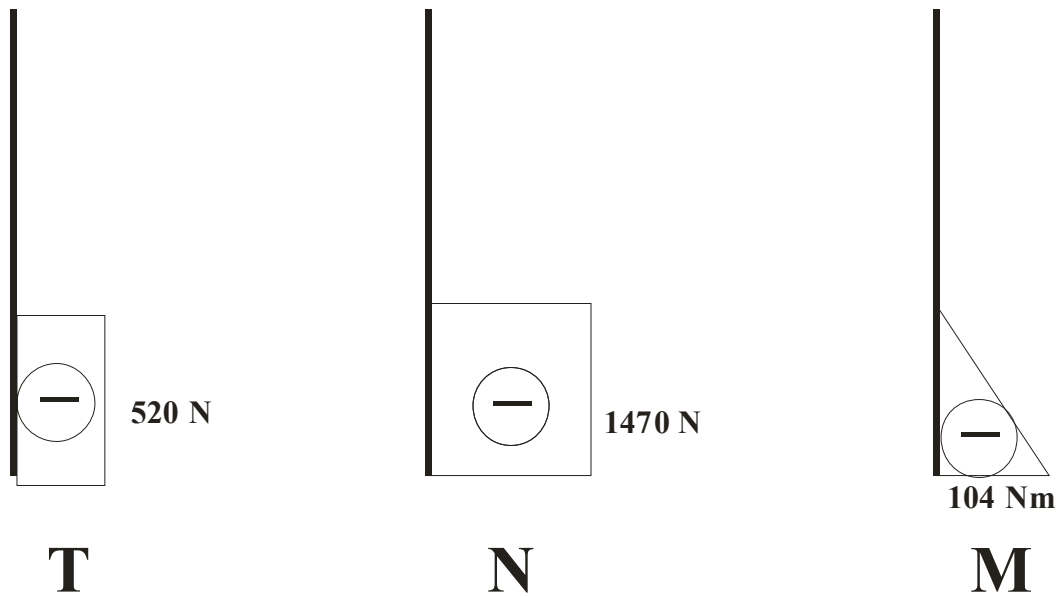
Eseguendo i calcoli si trova:

$$H_A = F_{acc} = 520 \text{ N}$$

$$V_A = F_p = 1470 \text{ N}$$

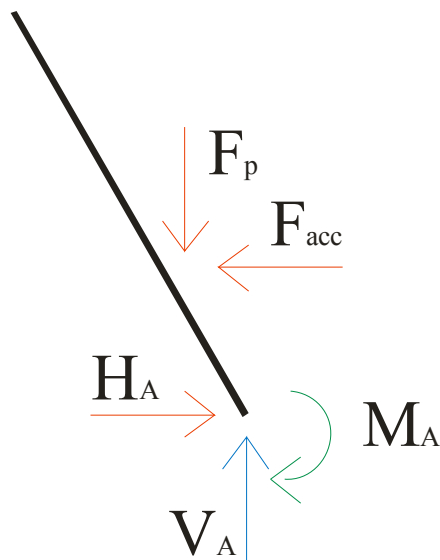
$$M_A = F_{acc} \cdot h/3 = 520 \cdot 0.2 = 104 \text{ Nm}$$

Servendosi dei dati trovati si possono tracciare i diagrammi delle reazioni:



**Schienale**      con  $\theta = 30^\circ$

Anche qui si immaginano le forze applicate ad un terzo dell'altezza dello schienale in posizione verticale:



Eseguendo i calcoli si trova:

$$H_A = F_{acc} = 520 \text{ N}$$

$$V_A = F_p = 1470 \text{ N}$$

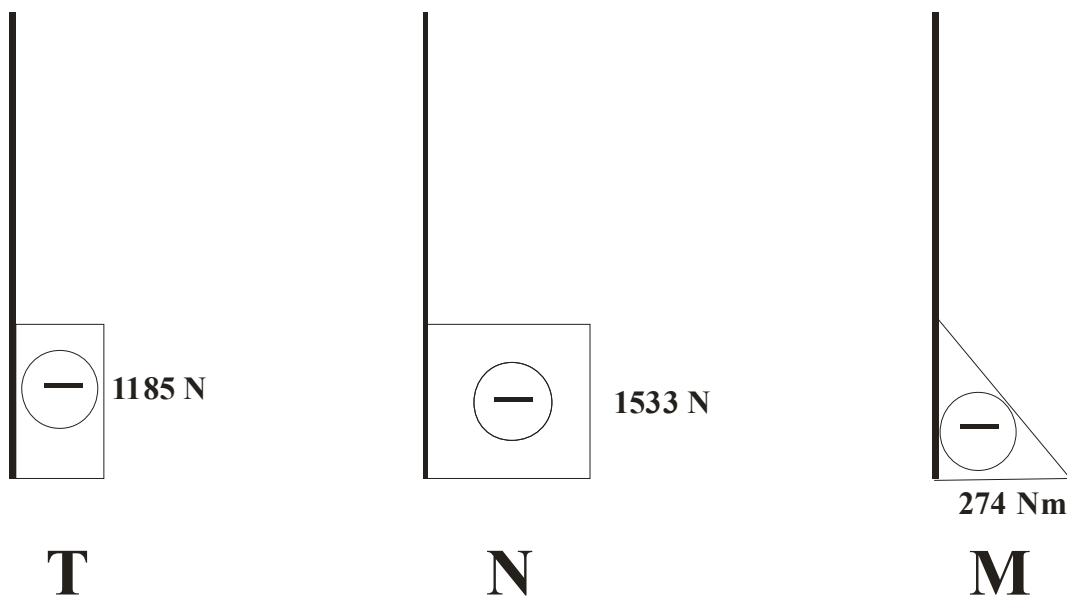
$$M_A = F_{acc} \cdot h/3 + F_p \cdot h/3 \cdot \tan 30^\circ = 273.7 \approx 274 \text{ Nm}$$

Per trovare le reazioni normali e di taglio si scompongano le reazioni orizzontale e verticale:

$$T = F_p \cdot \sin 30^\circ + F_{acc} \cdot \cos 30^\circ = 1185.3 \approx 1185 \text{ N}$$

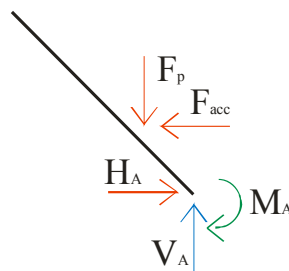
$$N = F_p \cdot \cos 30^\circ + F_{acc} \cdot \sin 30^\circ = 1533 \text{ N}$$

Usando i dati trovati si possono tracciare i diagrammi delle reazioni:



### Schienale con $\theta = 45^\circ$

Aumentando l'inclinazione dello schienale all'indietro aumenta l'entità del momento, anche se in maniera non eccessiva rispetto a  $\theta = 30^\circ$ . Si suppone la forza di accelerazione sempre applicata ad un terzo dell'altezza dello schienale in posizione verticale.





Eseguendo i calcoli si trova:

$$H_A = F_{acc} = 520 \text{ N}$$

$$V_A = F_p = 1470 \text{ N}$$

$$M_A = F_{acc} \cdot h/3 + F_p \cdot h/3 \cdot \tan 45^\circ = 520 \cdot 0.2 + 1470 \cdot 0.2 = 398 \text{ Nm}$$

Per trovare le reazioni normali e di taglio si scompongano le reazioni orizzontale e verticale:

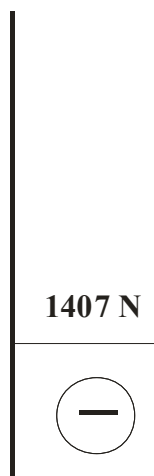
$$T = F_p \cdot \sin 45^\circ + F_{acc} \cdot \cos 45^\circ = 1407.1 \approx 1407 \text{ N}$$

$$N = F_p \cdot \cos 45^\circ + F_{acc} \cdot \sin 45^\circ = 1407.1 \approx 1407 \text{ N}$$

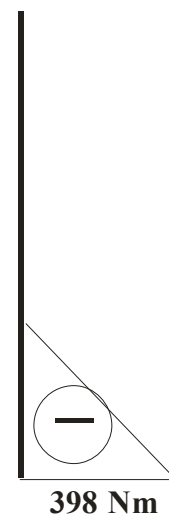
Impiegando i dati trovati si possono tracciare i diagrammi delle reazioni:



**T**



**N**

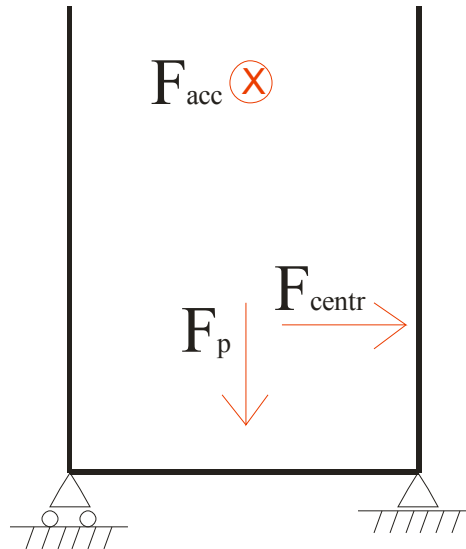


**M**

**FORZE DINAMICHE - piano  $y - z$** 

In questo caso interviene la forza di accelerazione: essa viene per semplicità considerata sempre diretta verso l'asse  $y$ , ma ovviamente va considerato che anche il lato opposto è sottoposto alle stesse entità.

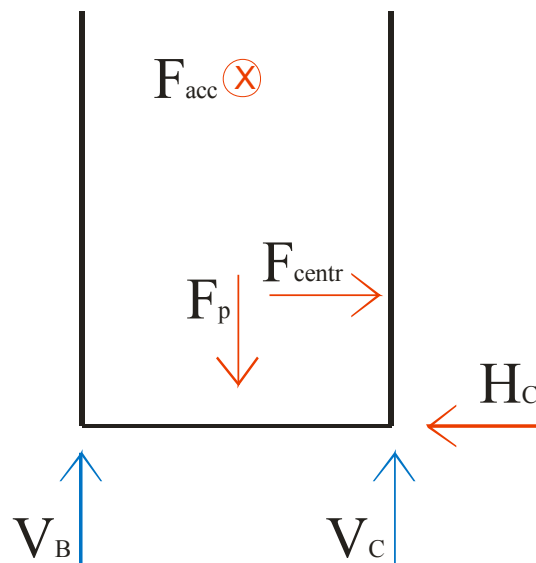
La presenza o meno della forza di accelerazione risulta trascurabile, in quanto essa ha verso "entrante" nel foglio. La lunghezza del montante viene stimata pari a 0.44 m.



**Schienale con**

- $\theta = 0^\circ$
- $\theta = 30^\circ$
- $\theta = 45^\circ$

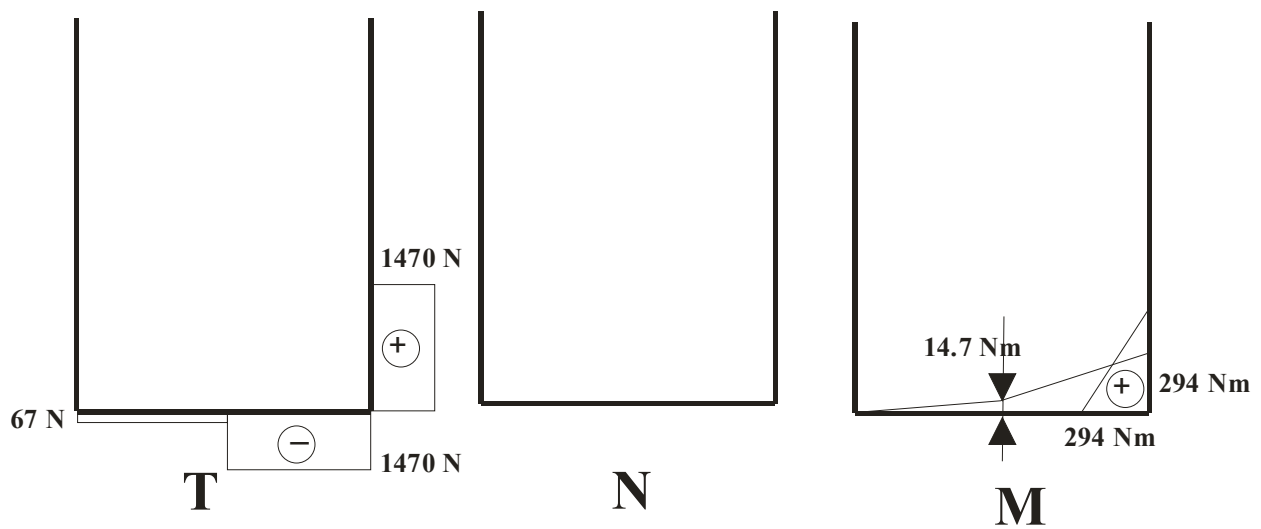
Anche in questo caso, in teoria il baricentro si abbasserebbe lungo l'asse  $z$  versol l'origine in funzione dell'angolo, ma poiché è stata posta come ipotesi conservativa che esso resti ad una quota  $z$  costante, è sufficiente lo studio con  $\theta = 0^\circ$  per coprire tutti i tre casi.



Eseguendo i calcoli si trova:

$$\begin{array}{ll}
 H_C = F_{\text{centr}} = 1470 \text{ N} & H_C = 1470 \text{ N} \\
 V_B + V_C = F_p & V_B = -67 \text{ N} \\
 V_B \cdot l + F_{\text{centr}} \cdot h/3 = F_p \cdot l/2 & V_C = 1403 \text{ N}
 \end{array}
 \implies$$

Utilizzando i dati trovati si possono tracciare i diagrammi delle reazioni:



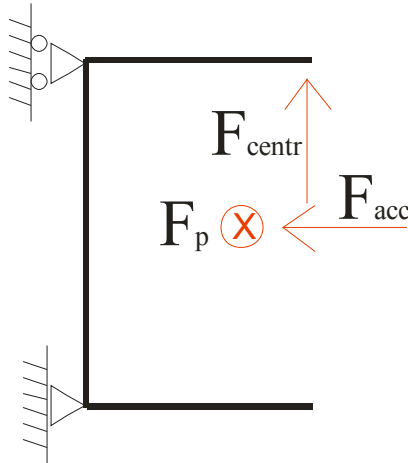
**FORZE DINAMICHE - piano  $x - y$** 

Si giunge quindi all'ultima tipologia.

In questo caso sono state poste tre ulteriori considerazioni conservative.

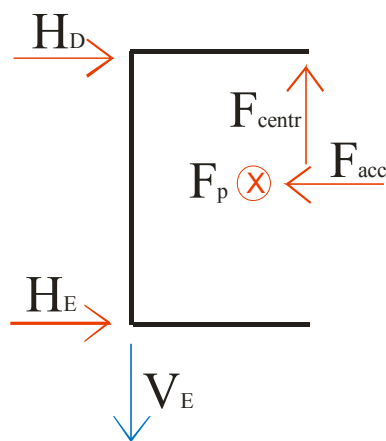
Si è supposto che:

- sia la forza centrifuga sia la forza di accelerazione coesistano in contemporanea alla massima intensità;
- la forza centrifuga sia applicata nell'estremo dell'aletta di contenimento;
- l'aletta di contenimento sia sufficientemente lunga ( $d = 0.2$  m).



**Schienale**     con  $\theta = 0^\circ$   
                       con  $\theta = 30^\circ$   
                       con  $\theta = 45^\circ$

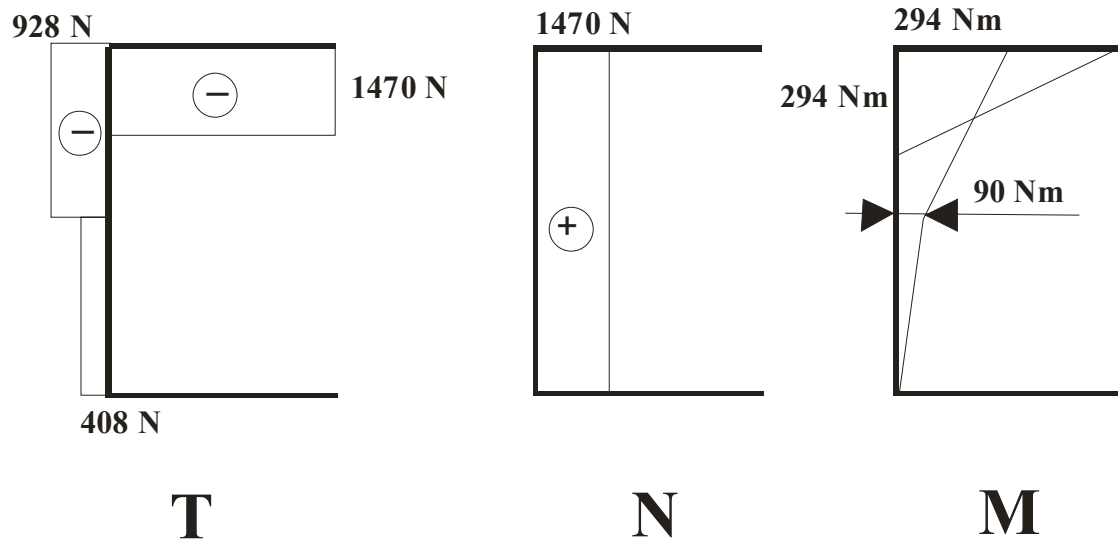
Anche in questo caso si fa un solo studio delle reazioni, in quanto  $\theta = 0^\circ$  copre anche gli altri due casi.



Eseguendo i calcoli si trova:

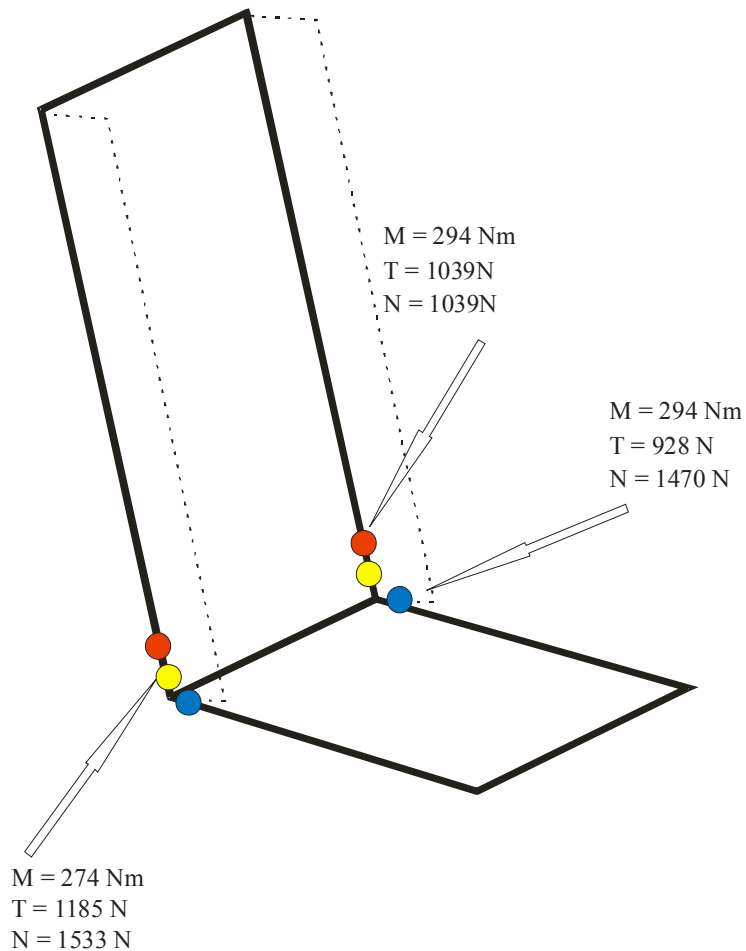
$$\begin{aligned}
 V_E = F_{\text{centr}} &= 1470 \text{ N} & V_E &= 1470 \text{ N} \\
 H_D + H_E &= F_{\text{acc}} & H_D &= 928 \text{ N} \\
 F_{\text{acc}} \cdot l/2 + F_{\text{centr}} \cdot d &= H_D \cdot l & H_E &= -408 \text{ N}
 \end{aligned}
 \implies$$

Usando i dati trovati si possono tracciare i diagrammi delle reazioni:



A questo punto è necessario riassumere tutti i dati in un disegno unico, affinché si possa individuare il punto più sollecitato della struttura ed in esso procedere prima al calcolo delle tensioni e poi al dimensionamento del profilo.

## Schematizzazione massime sollecitazioni



LEGENDA	
-----	Alette di contenimento
●	Primo punto critico
●	Secondo punto critico
●	Terzo punto critico

A questo punto si può provare a dimensionare il profilo tubolare per la costruzione del telaio. Si ipotizza di effettuare il dimensionamento per quattro diversi materiali, di calcolare il costo di ognuno di essi e di confrontarli tra loro. Anche qui vengono fatte numerose semplificazioni, anche per la difficoltà di reperire dati precisi.

Si ipotizzi che:

- i quattro diversi materiali subiscano processi e lavorazioni che consentano di raggiungere simili livelli di finitura;
- le uniche differenze tra i quattro sedili riguardino esclusivamente i tubolari del telaio;
- i costi finali per i quattro materiali subiscano un ricarico percentualmente uguale;
- i costi siano indipendenti dalle quantità acquistate;
- le quattro leghe siano dotate di caratteristiche “intermedie”.

I costi qui considerati provengono da aziende che lavorano queste leghe: ho mandato numerose e-mail chiedendo indicativamente il costo al chilogrammo di esse per un tubo di diametro 20mm e spessore 2mm e con le risposte ottenute ho estrapolato quattro costi medi.

Essi sono naturalmente variabili anche in base alla quotazione della materia prima: i dati ricavati risalgono ad agosto-settembre 2008.

Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche alcune provengono dalle sopra citate e-mail, altre sono state ricavate come valori medi di quelli trovati consultando varie tabelle.

Si riassumono di seguito i dati utili riguardanti le quattro leghe considerate:

	<b>Densità (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Carico snervamento (MPa)</b>	<b>Costo (€/kg)</b>	<b>Modulo Elastico (MPa)</b>
<b>Acciaio</b>	7.9	400	1.3	210000
<b>Lega Alluminio</b>	2.7	330	6.0	70000
<b>Lega Titanio</b>	4.4	500	33.0	110000
<b>Lega Carbonio</b>	1.6	1500	285.0	250000

Si compila un foglio di calcolo Excel per poter facilmente valutare vari diametri e spessori.

Si sono considerati diversi diametri esterni, cioè di

- 14mm
- 16mm
- 18mm
- 20mm
- 22mm

e per ognuno di essi uno spessore di

- 2mm
- 3mm
- 4mm
- 5mm.

Vengono di seguito scritte sei tabelle, dove le prime due riguardano il dimensionamento dello schienale considerando solo la forza peso, quelle centrali il dimensionamento (considerando le forze dinamiche) dell'aletta di contenimento per contrastare la forza centrifuga e le ultime due, sempre considerando le forze dinamiche, il dimensionamento dello schienale con massima inclinazione rispetto alla verticale pari a 30°.

Nelle pagine precedenti è stato svolto il dimensionamento anche per un'inclinazione dello schienale pari a 45°, ma in questo caso il profilo tubolare per soddisfare la condizione diventerebbe eccessivamente largo e spesso.

Si è trascurata questa ipotesi sia per poter effettuare un confronto a parità di rapporto tra la resistenza del materiale e la sollecitazione delle forze, ma anche perché l'ipotesi di guidare con lo schienale a 45° alle massime velocità è alquanto improbabile.

Se si osserva una foto del particolare del sedile che mi sono procurato i montanti laterali del sedile sono di forma diversa e molto più resistente rispetto a quella tubolare: ciò significa che anche i progettisti della Lancia hanno ritenuto fortemente sollecitata quella zona.

Si spiegano di seguito le voci delle colonne delle prime due tabelle: nella seconda riga sono state identificate con dei numeri crescenti da sinistra verso destra da 1 a 40.

#### PRIMA TABELLA

1° colonna: **Momento**, cioè il valore espresso in Newton del momento nel punto considerato espresso in MPa;

2° colonna: **Sforzo normale**, cioè il valore espresso in Newton dello sforzo normale nel punto considerato espresso in MPa;

3° colonna: **Taglio**, cioè il valore espresso in Newton del taglio nel punto considerato espresso in MPa;

4° colonna: **Diametro esterno**, cioè il valore del diametro esterno della sezione espresso in mm;

5° colonna: **Diametro interno**, cioè il valore del diametro interno della sezione espresso in mm;

6° colonna:  $\sigma_{sn}$  **Acciaio**, cioè il valore medio della tensione di snervamento per l'acciaio espresso in MPa;

7° colonna:  $\sigma_{sn}$  **Alluminio**, cioè il valore medio della tensione di snervamento per la lega di alluminio considerata espresso in MPa;

8° colonna:  $\sigma_{sn}$  **Titanio**, cioè il valore medio della tensione di snervamento per la lega di titanio considerata espresso in MPa;

9° colonna:  $\sigma_{sn}$  **Carbonio**, cioè il valore medio della tensione di snervamento per la lega di carbonio considerata espresso in MPa;

10° colonna:  $\sigma_{Von Mises}$ , cioè il valore della tensione di Von Mises calcolata tenendo conto di  $\sigma_{tot}$  e di  $\tau$ , espresso in MPa;

11° colonna: **CR Acciaio**, cioè il coefficiente di rapporto dell'acciaio, ovvero il rapporto tra la  $\sigma_{sn}$  Acciaio e la  $\sigma_{VonMises}$ ;

12° colonna: **CR Alluminio**, cioè il coefficiente di rapporto della lega di alluminio, ovvero il rapporto tra la  $\sigma_{sn}$  Alluminio e la  $\sigma_{VonMises}$ ;



- 13° colonna: **CR Titanio**, cioè il coefficiente di rapporto della lega di titanio, ovvero il rapporto tra la  $\sigma_{sn}$  titanio e la  $\sigma_{VonMises}$ ;
- 14° colonna: **CR Carbonio**, cioè il coefficiente di rapporto della lega di carbonio, ovvero il rapporto tra la  $\sigma_{sn}$  Carbonio e la  $\sigma_{VonMises}$ ;
- 15° colonna: **Area**, cioè l'area della sezione in  $\text{mm}^3$ ;
- 16° colonna: **D-d**, cioè la differenza tra il diametro esterno e il diametro interno espressa in mm;
- 17° colonna: **D<sup>2</sup>-d<sup>2</sup>**, cioè la differenza tra il quadrato del diametro esterno e quello del diametro interno;
- 18° colonna: **D<sup>3</sup>-d<sup>3</sup>**, cioè la differenza tra il cubo del diametro esterno e quello del diametro interno;
- 19° colonna: **D<sup>4</sup>-d<sup>4</sup>**, cioè la differenza tra la quarta potenza del diametro esterno e quella del diametro interno;
- 20° colonna:  **$\sigma_{norm}$** , cioè la tensione di trazione/compressione della sezione espressa in MPa;
- 21° colonna:  **$\sigma_{tot}$** , cioè la tensione flessionale più quella normale espressa in MPa;
- 22° colonna:  **$\tau$** , cioè la tensione tangenziale nella sezione causata dal taglio espressa in MPa.

## SECONDA TABELLA

- 23° colonna: **Lunghezza totale**, cioè quanto tubo occorre per costruire il telaio, espresso in mm;
- 24° colonna: **Peso in Acciaio**, cioè il peso indicativo del telaio costruito in acciaio;
- 25° colonna: **Peso in Alluminio**, cioè il peso indicativo del telaio costruito in lega di alluminio;
- 26° colonna: **Peso in Titanio**, cioè il peso indicativo del telaio costruito in lega di titanio;
- 27° colonna: **Peso in Carbonio**, cioè il peso indicativo del telaio costruito in lega di carbonio;
- 28° colonna: **Costo unit. Acciaio**, cioè il costo finale dell'acciaio espresso in €/kg;
- 29° colonna: **Costo unit. Alluminio**, cioè il costo finale della lega di alluminio espresso in €/kg;
- 30° colonna: **Costo unit. Titanio**, cioè il costo finale della lega di titanio espresso in €/kg;
- 31° colonna: **Costo unit. Carbonio**, cioè il costo finale della lega di carbonio espresso in €/kg;
- 32° colonna: **Costo tot. Acciaio**, cioè il costo finale dell'intero telaio in acciaio espresso in €;
- 33° colonna: **Costo tot. Alluminio**, cioè il costo finale dell'intero telaio in lega di alluminio espresso in €;
- 34° colonna: **Costo tot. Titanio**, cioè il costo finale dell'intero telaio in lega di titanio espresso in €;
- 35° colonna: **Costo tot. Carbonio**, cioè il costo finale dell'intero telaio in lega di carbonio espresso in €;
- 36° colonna: **Densità Acciaio**, cioè la densità dell'acciaio espressa in  $\text{kg/dm}^3$ ;
- 37° colonna: **Densità Alluminio**, cioè la densità della lega di alluminio espressa in  $\text{kg/dm}^3$ ;
- 38° colonna: **Densità Titanio**, cioè la densità della lega di titanio espressa in  $\text{kg/dm}^3$ ;
- 39° colonna: **Densità Carbonio**, cioè la densità della lega di carbonio espressa in  $\text{kg/dm}^3$ ;
- 40° colonna: **Volume**, cioè il volume totale del telaio espresso in  $\text{dm}^3$ .

	Acciaio
	Lega di Alluminio
	Lega di Titanio
	Lega di Carbonio

Dimensionamento schienale (forza peso)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Momento	Sforzo normale	Taglio	Diametro esterno	Diametro interno	$\sigma_{sn}$ Acciaio	$\sigma_{sn}$ Alluminio	$\sigma_{sn}$ Titanio	$\sigma_{sn}$ Carbonio	$\sigma_{Von Mises}$
294000	1039	1039	14	4	400	330	500	1500	1108
294000	1039	1039	14	6	400	330	500	1500	1140
294000	1039	1039	14	8	400	330	500	1500	1236
294000	1039	1039	14	10	400	330	500	1500	1496
294000	1039	1039	16	6	400	330	500	1500	754
294000	1039	1039	16	8	400	330	500	1500	790
294000	1039	1039	16	10	400	330	500	1500	875
294000	1039	1039	16	12	400	330	500	1500	1088
294000	1039	1039	18	8	400	330	500	1500	542
294000	1039	1039	18	10	400	330	500	1500	576
294000	1039	1039	18	12	400	330	500	1500	651
294000	1039	1039	18	14	400	330	500	1500	827
294000	1039	1039	20	10	400	330	500	1500	406
294000	1039	1039	20	12	400	330	500	1500	438
294000	1039	1039	20	14	400	330	500	1500	503
294000	1039	1039	20	16	400	330	500	1500	650
294000	1039	1039	22	12	400	330	500	1500	315
294000	1039	1039	22	14	400	330	500	1500	344
294000	1039	1039	22	16	400	330	500	1500	401
294000	1039	1039	22	18	400	330	500	1500	525

Dimensionamento schienale (forza peso)											
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
CR Acciaio	CR Alluminio	CR Titanio	CR Carbonio	Area	D-d	D <sup>2</sup> -d <sup>2</sup>	D <sup>3</sup> -d <sup>3</sup>	D <sup>4</sup> -d <sup>4</sup>	$\sigma_{\text{norm}}$	$\sigma_{\text{tot}}$	$\tau$
0,4	0,3	0,5	1,4	141	10	180	2680	38160	7,3	1106,0	37,2
0,4	0,3	0,4	1,3	126	8	160	2528	37120	8,3	1137,7	45,0
0,3	0,3	0,4	1,2	104	6	132	2232	34320	10,0	1231,6	57,4
0,3	0,2	0,3	1,0	75	4	96	1744	28416	13,8	1489,2	81,2
0,5	0,4	0,7	2,0	173	10	220	3880	64240	6,0	751,9	32,0
0,5	0,4	0,6	1,9	151	8	192	3584	61440	6,9	786,7	38,6
0,5	0,4	0,6	1,7	123	6	156	3096	55536	8,5	871,2	49,2
0,4	0,3	0,5	1,4	88	4	112	2368	44800	11,8	1081,3	69,9
0,7	0,6	0,9	2,8	204	10	260	5320	100880	5,1	539,4	27,9
0,7	0,6	0,9	2,6	176	8	224	4832	94976	5,9	573,5	33,7
0,6	0,5	0,8	2,3	141	6	180	4104	84240	7,3	647,2	43,0
0,5	0,4	0,6	1,8	101	4	128	3088	66560	10,3	820,2	61,4
1,0	0,8	1,2	3,7	236	10	300	7000	150000	4,4	403,7	24,7
0,9	0,8	1,1	3,4	201	8	256	6272	139264	5,2	435,2	29,8
0,8	0,7	1,0	3,0	160	6	204	5256	121584	6,5	499,1	38,1
0,6	0,5	0,8	2,3	113	4	144	3904	94464	9,2	643,2	54,7
1,3	1,0	1,6	4,8	267	10	340	8920	213520	3,9	312,4	22,1
1,2	1,0	1,5	4,4	226	8	288	7904	195840	4,6	341,0	26,7
1,0	0,8	1,2	3,7	179	6	228	6552	168720	5,8	396,3	34,2
0,8	0,6	1,0	2,9	126	4	160	4816	129280	8,3	517,9	49,3

Calcolo costo telaio (forza peso)										
4	5	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Diametro esterno	Diametro interno	Lunghezza totale	Peso in Acciaio	Peso in Alluminio	Peso in Titanio	Peso in Carbonio	Costo unit. Acciaio	Costo unit. Alluminio	Costo unit. Titanio	Costo unit. Carbonio
14	4	5220	5,8	2,0	3,2	1,2	1,3	6,0	33,0	285,0
14	6	5220	5,2	1,8	2,9	1,0	1,3	6,0	33,0	285,0
14	8	5220	4,3	1,5	2,4	0,9	1,3	6,0	33,0	285,0
14	10	5220	3,1	1,1	1,7	0,6	1,3	6,0	33,0	285,0
16	6	5220	7,1	2,4	4,0	1,4	1,3	6,0	33,0	285,0
16	8	5220	6,2	2,1	3,5	1,3	1,3	6,0	33,0	285,0
16	10	5220	5,1	1,7	2,8	1,0	1,3	6,0	33,0	285,0
16	12	5220	3,6	1,2	2,0	0,7	1,3	6,0	33,0	285,0
18	8	5220	8,4	2,9	4,7	1,7	1,3	6,0	33,0	285,0
18	10	5220	7,3	2,5	4,0	1,5	1,3	6,0	33,0	285,0
18	12	5220	5,8	2,0	3,2	1,2	1,3	6,0	33,0	285,0
18	14	5220	4,1	1,4	2,3	0,8	1,3	6,0	33,0	285,0
20	10	5220	9,7	3,3	5,4	2,0	1,3	6,0	33,0	285,0
20	12	5220	8,3	2,8	4,6	1,7	1,3	6,0	33,0	285,0
20	14	5220	6,6	2,3	3,7	1,3	1,3	6,0	33,0	285,0
20	16	5220	4,7	1,6	2,6	0,9	1,3	6,0	33,0	285,0
22	12	5220	11,0	3,8	6,1	2,2	1,3	6,0	33,0	285,0
22	14	5220	9,3	3,2	5,2	1,9	1,3	6,0	33,0	285,0
22	16	5220	7,4	2,5	4,1	1,5	1,3	6,0	33,0	285,0
22	18	5220	5,2	1,8	2,9	1,0	1,3	6,0	33,0	285,0

Calcolo costo telaio (forza peso)										
32	33	34	35	36	37	38	39	17	15	40
Costo tot. Acciaio	Costo tot. Alluminio	Costo tot. Titanio	Costo tot. Carbonio	Densità Acciaio	Densità Alluminio	Densità Titanio	Densità Carbonio	D <sup>2</sup> -d <sup>2</sup>	Area	Volume
7,6	12,0	107,2	336,5	7,9	2,7	4,4	1,6	180,0	141,4	0,7
6,7	10,6	95,2	299,1	7,9	2,7	4,4	1,6	160,0	125,7	0,7
5,6	8,8	78,6	246,8	7,9	2,7	4,4	1,6	132,0	103,7	0,5
4,0	6,4	57,1	179,5	7,9	2,7	4,4	1,6	96,0	75,4	0,4
9,3	14,6	131,0	411,3	7,9	2,7	4,4	1,6	220,0	172,8	0,9
8,1	12,8	114,3	358,9	7,9	2,7	4,4	1,6	192,0	150,8	0,8
6,6	10,4	92,9	291,6	7,9	2,7	4,4	1,6	156,0	122,5	0,6
4,7	7,4	66,7	209,4	7,9	2,7	4,4	1,6	112,0	88,0	0,5
10,9	17,3	154,8	486,1	7,9	2,7	4,4	1,6	260,0	204,2	1,1
9,4	14,9	133,3	418,8	7,9	2,7	4,4	1,6	224,0	175,9	0,9
7,6	12,0	107,2	336,5	7,9	2,7	4,4	1,6	180,0	141,4	0,7
5,4	8,5	76,2	239,3	7,9	2,7	4,4	1,6	128,0	100,5	0,5
12,6	19,9	178,6	560,8	7,9	2,7	4,4	1,6	300,0	235,6	1,2
10,8	17,0	152,4	478,6	7,9	2,7	4,4	1,6	256,0	201,1	1,0
8,6	13,5	121,4	381,4	7,9	2,7	4,4	1,6	204,0	160,2	0,8
6,1	9,6	85,7	269,2	7,9	2,7	4,4	1,6	144,0	113,1	0,6
14,3	22,6	202,4	635,6	7,9	2,7	4,4	1,6	340,0	267,0	1,4
12,1	19,1	171,4	538,4	7,9	2,7	4,4	1,6	288,0	226,2	1,2
9,6	15,1	135,7	426,2	7,9	2,7	4,4	1,6	228,0	179,1	0,9
6,7	10,6	95,2	299,1	7,9	2,7	4,4	1,6	160,0	125,7	0,7

Dimensionamento aletta (forza peso + forze dinamiche)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Momento	Sforzo normale	Taglio	Diametro esterno	Diametro interno	$\sigma_{sn}$ Acciaio	$\sigma_{sn}$ Alluminio	$\sigma_{sn}$ Titanio	$\sigma_{sn}$ Carbonio	$\sigma$ Von Mises
294000	1470	1470	14	4	400	330	500	1500	1113
294000	1470	1470	14	6	400	330	500	1500	1146
294000	1470	1470	14	8	400	330	500	1500	1244
294000	1470	1470	14	10	400	330	500	1500	1508
294000	1470	1470	16	6	400	330	500	1500	758
294000	1470	1470	16	8	400	330	500	1500	795
294000	1470	1470	16	10	400	330	500	1500	883
294000	1470	1470	16	12	400	330	500	1500	1100
294000	1470	1470	18	8	400	330	500	1500	546
294000	1470	1470	18	10	400	330	500	1500	582
294000	1470	1470	18	12	400	330	500	1500	659
294000	1470	1470	18	14	400	330	500	1500	838
294000	1470	1470	20	10	400	330	500	1500	410
294000	1470	1470	20	12	400	330	500	1500	443
294000	1470	1470	20	14	400	330	500	1500	510
294000	1470	1470	20	16	400	330	500	1500	661
294000	1470	1470	22	12	400	330	500	1500	319
294000	1470	1470	22	14	400	330	500	1500	349
294000	1470	1470	22	16	400	330	500	1500	407
294000	1470	1470	22	18	400	330	500	1500	535

Dimensionamento aletta (forza peso + forze dinamiche)											
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
CR Acciaio	CR Alluminio	CR Titanio	CR Carbonio	Area	D-d	D <sup>2</sup> -d <sup>2</sup>	D <sup>3</sup> -d <sup>3</sup>	D <sup>4</sup> -d <sup>4</sup>	$\sigma_{\text{norm}}$	$\sigma_{\text{tot}}$	$\tau$
0,4	0,3	0,4	1,3	141	10	180	2680	38160	10,4	1109,1	52,6
0,3	0,3	0,4	1,3	126	8	160	2528	37120	11,7	1141,1	63,7
0,3	0,3	0,4	1,2	104	6	132	2232	34320	14,2	1235,8	81,1
0,3	0,2	0,3	1,0	75	4	96	1744	28416	19,5	1494,9	114,9
0,5	0,4	0,7	2,0	173	10	220	3880	64240	8,5	754,4	45,2
0,5	0,4	0,6	1,9	151	8	192	3584	61440	9,7	789,6	54,6
0,5	0,4	0,6	1,7	123	6	156	3096	55536	12,0	874,8	69,6
0,4	0,3	0,5	1,4	88	4	112	2368	44800	16,7	1086,2	98,9
0,7	0,6	0,9	2,7	204	10	260	5320	100880	7,2	541,5	39,5
0,7	0,6	0,9	2,6	176	8	224	4832	94976	8,4	575,9	47,6
0,6	0,5	0,8	2,3	141	6	180	4104	84240	10,4	650,3	60,8
0,5	0,4	0,6	1,8	101	4	128	3088	66560	14,6	824,5	86,8
1,0	0,8	1,2	3,7	236	10	300	7000	150000	6,2	405,5	34,9
0,9	0,7	1,1	3,4	201	8	256	6272	139264	7,3	437,4	42,1
0,8	0,6	1,0	2,9	160	6	204	5256	121584	9,2	501,8	53,9
0,6	0,5	0,8	2,3	113	4	144	3904	94464	13,0	647,0	77,4
1,3	1,0	1,6	4,7	267	10	340	8920	213520	5,5	314,1	31,3
1,1	0,9	1,4	4,3	226	8	288	7904	195840	6,5	342,9	37,8
1,0	0,8	1,2	3,7	179	6	228	6552	168720	8,2	398,7	48,5
0,7	0,6	0,9	2,8	126	4	160	4816	129280	11,7	521,3	69,7

Calcolo costo telaio (forza peso + forze dinamiche)										
4	5	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Diametro esterno	Diametro interno	Lunghezza totale	Peso in Acciaio	Peso in Alluminio	Peso in Titanio	Peso in Carbonio	Costo unit. Acciaio	Costo unit. Alluminio	Costo unit. Titanio	Costo unit. Carbonio
14	4	5220	5,8	2,0	3,2	1,2	1,3	6,0	33,0	285,0
14	6	5220	5,2	1,8	2,9	1,0	1,3	6,0	33,0	285,0
14	8	5220	4,3	1,5	2,4	0,9	1,3	6,0	33,0	285,0
14	10	5220	3,1	1,1	1,7	0,6	1,3	6,0	33,0	285,0
16	6	5220	7,1	2,4	4,0	1,4	1,3	6,0	33,0	285,0
16	8	5220	6,2	2,1	3,5	1,3	1,3	6,0	33,0	285,0
16	10	5220	5,1	1,7	2,8	1,0	1,3	6,0	33,0	285,0
16	12	5220	3,6	1,2	2,0	0,7	1,3	6,0	33,0	285,0
18	8	5220	8,4	2,9	4,7	1,7	1,3	6,0	33,0	285,0
18	10	5220	7,3	2,5	4,0	1,5	1,3	6,0	33,0	285,0
18	12	5220	5,8	2,0	3,2	1,2	1,3	6,0	33,0	285,0
18	14	5220	4,1	1,4	2,3	0,8	1,3	6,0	33,0	285,0
20	10	5220	9,7	3,3	5,4	2,0	1,3	6,0	33,0	285,0
20	12	5220	8,3	2,8	4,6	1,7	1,3	6,0	33,0	285,0
20	14	5220	6,6	2,3	3,7	1,3	1,3	6,0	33,0	285,0
20	16	5220	4,7	1,6	2,6	0,9	1,3	6,0	33,0	285,0
22	12	5220	11,0	3,8	6,1	2,2	1,3	6,0	33,0	285,0
22	14	5220	9,3	3,2	5,2	1,9	1,3	6,0	33,0	285,0
22	16	5220	7,4	2,5	4,1	1,5	1,3	6,0	33,0	285,0
22	18	5220	5,2	1,8	2,9	1,0	1,3	6,0	33,0	285,0



Calcolo costo telaio (forza peso + forze dinamiche)										
32	33	34	35	36	37	38	39	17	15	40
Costo tot. Acciaio	Costo tot. Alluminio	Costo tot. Titanio	Costo tot. Carbonio	Densità Acciaio	Densità Alluminio	Densità Titanio	Densità Carbonio	D <sup>2</sup> -d <sup>2</sup>	Area	Volume
7,6	12,0	107,2	336,5	7,9	2,7	4,4	1,6	180,0	141,4	0,7
6,7	10,6	95,2	299,1	7,9	2,7	4,4	1,6	160,0	125,7	0,7
5,6	8,8	78,6	246,8	7,9	2,7	4,4	1,6	132,0	103,7	0,5
4,0	6,4	57,1	179,5	7,9	2,7	4,4	1,6	96,0	75,4	0,4
9,3	14,6	131,0	411,3	7,9	2,7	4,4	1,6	220,0	172,8	0,9
8,1	12,8	114,3	358,9	7,9	2,7	4,4	1,6	192,0	150,8	0,8
6,6	10,4	92,9	291,6	7,9	2,7	4,4	1,6	156,0	122,5	0,6
4,7	7,4	66,7	209,4	7,9	2,7	4,4	1,6	112,0	88,0	0,5
10,9	17,3	154,8	486,1	7,9	2,7	4,4	1,6	260,0	204,2	1,1
9,4	14,9	133,3	418,8	7,9	2,7	4,4	1,6	224,0	175,9	0,9
7,6	12,0	107,2	336,5	7,9	2,7	4,4	1,6	180,0	141,4	0,7
5,4	8,5	76,2	239,3	7,9	2,7	4,4	1,6	128,0	100,5	0,5
12,6	19,9	178,6	560,8	7,9	2,7	4,4	1,6	300,0	235,6	1,2
10,8	17,0	152,4	478,6	7,9	2,7	4,4	1,6	256,0	201,1	1,0
8,6	13,5	121,4	381,4	7,9	2,7	4,4	1,6	204,0	160,2	0,8
6,1	9,6	85,7	269,2	7,9	2,7	4,4	1,6	144,0	113,1	0,6
14,3	22,6	202,4	635,6	7,9	2,7	4,4	1,6	340,0	267,0	1,4
12,1	19,1	171,4	538,4	7,9	2,7	4,4	1,6	288,0	226,2	1,2
9,6	15,1	135,7	426,2	7,9	2,7	4,4	1,6	228,0	179,1	0,9
6,7	10,6	95,2	299,1	7,9	2,7	4,4	1,6	160,0	125,7	0,7

Dimensionamento schienale $\theta_{\max} = 30^\circ$ (forza peso + forze dinamiche)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Momento	Sforzo normale	Taglio	Diametro esterno	Diametro interno	$\sigma_{sn}$ Acciaio	$\sigma_{sn}$ Alluminio	$\sigma_{sn}$ Titanio	$\sigma_{sn}$ Carbonio	$\sigma$ Von Mises
274000	1533	1185	14	4	400	330	500	1500	1037
274000	1533	1185	14	6	400	330	500	1500	1069
274000	1533	1185	14	8	400	330	500	1500	1159
274000	1533	1185	14	10	400	330	500	1500	1405
274000	1533	1185	16	6	400	330	500	1500	707
274000	1533	1185	16	8	400	330	500	1500	741
274000	1533	1185	16	10	400	330	500	1500	822
274000	1533	1185	16	12	400	330	500	1500	1024
274000	1533	1185	18	8	400	330	500	1500	508
274000	1533	1185	18	10	400	330	500	1500	542
274000	1533	1185	18	12	400	330	500	1500	613
274000	1533	1185	18	14	400	330	500	1500	779
274000	1533	1185	20	10	400	330	500	1500	382
274000	1533	1185	20	12	400	330	500	1500	413
274000	1533	1185	20	14	400	330	500	1500	475
274000	1533	1185	20	16	400	330	500	1500	614
274000	1533	1185	22	12	400	330	500	1500	297
274000	1533	1185	22	14	400	330	500	1500	325
274000	1533	1185	22	16	400	330	500	1500	379
274000	1533	1185	22	18	400	330	500	1500	497

Dimensionamento schienale $\theta_{\max} = 30^\circ$ (forza peso + forze dinamiche)											
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
CR Acciaio	CR Alluminio	CR Titanio	CR Carbonio	Area	D-d	D <sup>2</sup> -d <sup>2</sup>	D <sup>3</sup> -d <sup>3</sup>	D <sup>4</sup> -d <sup>4</sup>	$\sigma_{\text{norm}}$	$\sigma_{\text{tot}}$	$\tau$
0,4	0,3	0,5	1,4	141	10	180	2680	38160	10,8	1034,8	42,4
0,4	0,3	0,5	1,4	126	8	160	2528	37120	12,2	1064,8	51,4
0,3	0,3	0,4	1,3	104	6	132	2232	34320	14,8	1153,3	65,4
0,3	0,2	0,4	1,1	75	4	96	1744	28416	20,3	1395,4	92,6
0,6	0,5	0,7	2,1	173	10	220	3880	64240	8,9	704,0	36,5
0,5	0,4	0,7	2,0	151	8	192	3584	61440	10,2	737,0	44,0
0,5	0,4	0,6	1,8	123	6	156	3096	55536	12,5	816,6	56,1
0,4	0,3	0,5	1,5	88	4	112	2368	44800	17,4	1014,2	79,8
0,8	0,6	1,0	2,9	204	10	260	5320	100880	7,5	505,5	31,8
0,7	0,6	0,9	2,8	176	8	224	4832	94976	8,7	537,7	38,4
0,7	0,5	0,8	2,4	141	6	180	4104	84240	10,8	607,2	49,0
0,5	0,4	0,6	1,9	101	4	128	3088	66560	15,2	770,0	70,0
1,0	0,9	1,3	3,9	236	10	300	7000	150000	6,5	378,6	28,2
1,0	0,8	1,2	3,6	201	8	256	6272	139264	7,6	408,4	34,0
0,8	0,7	1,1	3,2	160	6	204	5256	121584	9,6	468,7	43,5
0,7	0,5	0,8	2,4	113	4	144	3904	94464	13,6	604,5	62,4
1,3	1,1	1,7	5,1	267	10	340	8920	213520	5,7	293,3	25,2
1,2	1,0	1,5	4,6	226	8	288	7904	195840	6,8	320,3	30,4
1,1	0,9	1,3	4,0	179	6	228	6552	168720	8,6	372,5	39,1
0,8	0,7	1,0	3,0	126	4	160	4816	129280	12,2	487,1	56,2

Calcolo costo telaio $\theta_{\max} = 30^\circ$ (forza peso + forze dinamiche)										
4	5	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Diametro esterno	Diametro interno	Lunghezza totale	Peso in Acciaio	Peso in Alluminio	Peso in Titanio	Peso in Carbonio	Costo unit. Acciaio	Costo unit. Alluminio	Costo unit. Titanio	Costo unit. Carbonio
14	4	5220	5,8	2,0	3,2	1,2	1,3	6,0	33,0	285,0
14	6	5220	5,2	1,8	2,9	1,0	1,3	6,0	33,0	285,0
14	8	5220	4,3	1,5	2,4	0,9	1,3	6,0	33,0	285,0
14	10	5220	3,1	1,1	1,7	0,6	1,3	6,0	33,0	285,0
16	6	5220	7,1	2,4	4,0	1,4	1,3	6,0	33,0	285,0
16	8	5220	6,2	2,1	3,5	1,3	1,3	6,0	33,0	285,0
16	10	5220	5,1	1,7	2,8	1,0	1,3	6,0	33,0	285,0
16	12	5220	3,6	1,2	2,0	0,7	1,3	6,0	33,0	285,0
18	8	5220	8,4	2,9	4,7	1,7	1,3	6,0	33,0	285,0
18	10	5220	7,3	2,5	4,0	1,5	1,3	6,0	33,0	285,0
18	12	5220	5,8	2,0	3,2	1,2	1,3	6,0	33,0	285,0
18	14	5220	4,1	1,4	2,3	0,8	1,3	6,0	33,0	285,0
20	10	5220	9,7	3,3	5,4	2,0	1,3	6,0	33,0	285,0
20	12	5220	8,3	2,8	4,6	1,7	1,3	6,0	33,0	285,0
20	14	5220	6,6	2,3	3,7	1,3	1,3	6,0	33,0	285,0
20	16	5220	4,7	1,6	2,6	0,9	1,3	6,0	33,0	285,0
22	12	5220	11,0	3,8	6,1	2,2	1,3	6,0	33,0	285,0
22	14	5220	9,3	3,2	5,2	1,9	1,3	6,0	33,0	285,0
22	16	5220	7,4	2,5	4,1	1,5	1,3	6,0	33,0	285,0
22	18	5220	5,2	1,8	2,9	1,0	1,3	6,0	33,0	285,0

Calcolo costo telaio $\theta_{\max} = 30^\circ$ (forza peso + forze dinamiche)										
32	33	34	35	36	37	38	39	17	15	40
Costo tot. Acciaio	Costo tot. Alluminio	Costo tot. Titanio	Costo tot. Carbonio	Densità Acciaio	Densità Alluminio	Densità Titanio	Densità Carbonio	D <sup>2</sup> -d <sup>2</sup>	Area	Volume
7,6	12,0	107,2	336,5	7,9	2,7	4,4	1,6	180,0	141,4	0,7
6,7	10,6	95,2	299,1	7,9	2,7	4,4	1,6	160,0	125,7	0,7
5,6	8,8	78,6	246,8	7,9	2,7	4,4	1,6	132,0	103,7	0,5
4,0	6,4	57,1	179,5	7,9	2,7	4,4	1,6	96,0	75,4	0,4
9,3	14,6	131,0	411,3	7,9	2,7	4,4	1,6	220,0	172,8	0,9
8,1	12,8	114,3	358,9	7,9	2,7	4,4	1,6	192,0	150,8	0,8
6,6	10,4	92,9	291,6	7,9	2,7	4,4	1,6	156,0	122,5	0,6
4,7	7,4	66,7	209,4	7,9	2,7	4,4	1,6	112,0	88,0	0,5
10,9	17,3	154,8	486,1	7,9	2,7	4,4	1,6	260,0	204,2	1,1
9,4	14,9	133,3	418,8	7,9	2,7	4,4	1,6	224,0	175,9	0,9
7,6	12,0	107,2	336,5	7,9	2,7	4,4	1,6	180,0	141,4	0,7
5,4	8,5	76,2	239,3	7,9	2,7	4,4	1,6	128,0	100,5	0,5
12,6	19,9	178,6	560,8	7,9	2,7	4,4	1,6	300,0	235,6	1,2
10,8	17,0	152,4	478,6	7,9	2,7	4,4	1,6	256,0	201,1	1,0
8,6	13,5	121,4	381,4	7,9	2,7	4,4	1,6	204,0	160,2	0,8
6,1	9,6	85,7	269,2	7,9	2,7	4,4	1,6	144,0	113,1	0,6
14,3	22,6	202,4	635,6	7,9	2,7	4,4	1,6	340,0	267,0	1,4
12,1	19,1	171,4	538,4	7,9	2,7	4,4	1,6	288,0	226,2	1,2
9,6	15,1	135,7	426,2	7,9	2,7	4,4	1,6	228,0	179,1	0,9
6,7	10,6	95,2	299,1	7,9	2,7	4,4	1,6	160,0	125,7	0,7

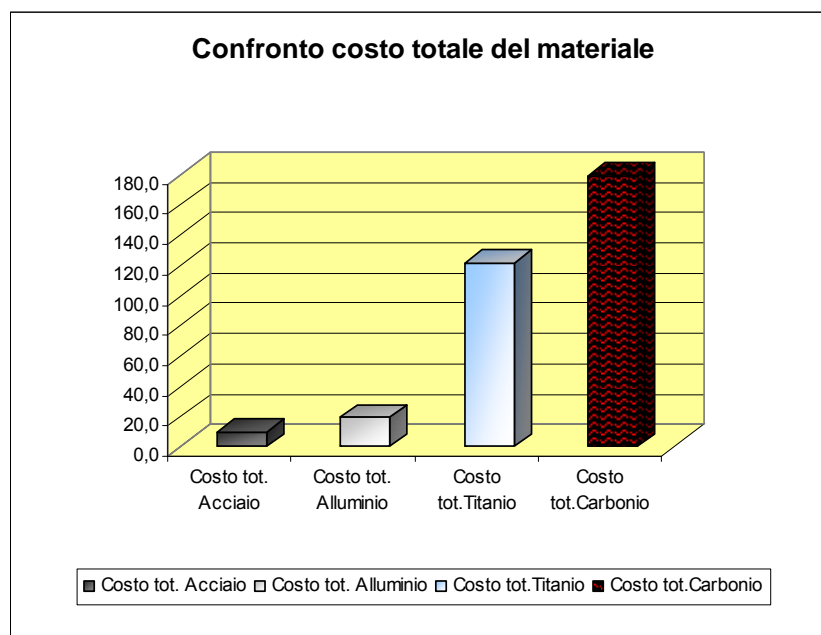
Secondo le ipotesi fatte e nonostante le forze considerate siano diverse, se si analizzano

- il punto del telaio dello schienale più sollecitato dalla forza peso
- il punto del telaio delle alette di contenimento più sollecitato dalla forza peso e dalle forze dinamiche
- il punto del telaio dello schienale più sollecitato dalla forza peso e dalle forze dinamiche

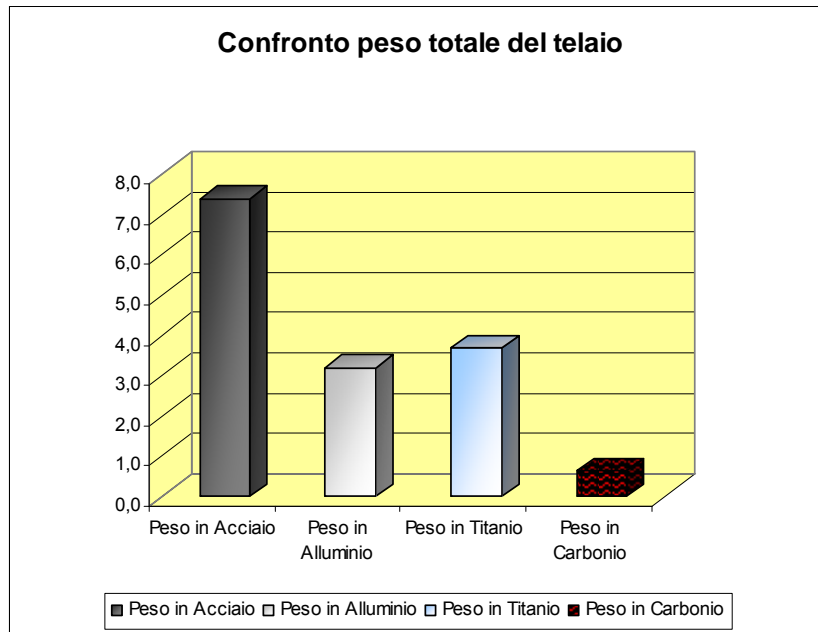
si può osservare che per tre leghe su quattro il tubo con minimo CR (colonna n° 11, 12, 13, 14) che soddisfa i requisiti di resistenza è lo stesso.

L'unico profilo tubolare che presenta un CR differente è quello in lega di titanio  $D=22\text{ mm}$ ,  $d=18\text{mm}$ , il quale soddisfa il primo ed il terzo punto, ma non pienamente il secondo: si è quindi convenuto di assumere come tubo di confronto quello  $D=20\text{mm}$ ,  $d=14\text{mm}$  per rispettare le regole imposte.

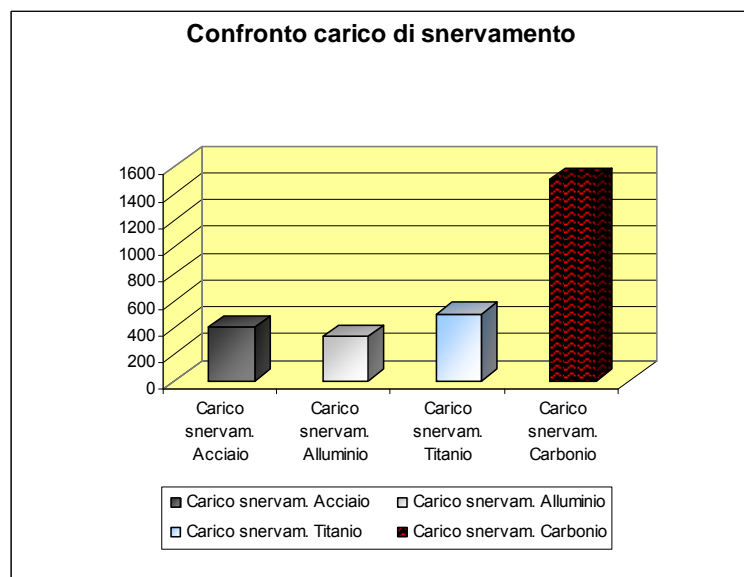
Per questa ragione di seguito vengono mostrati quattro grafici: due di confronto tra i telai costruiti nei quattro materiali, ed altri due di confronto tra le proprietà delle materie prime delle leghe considerate.



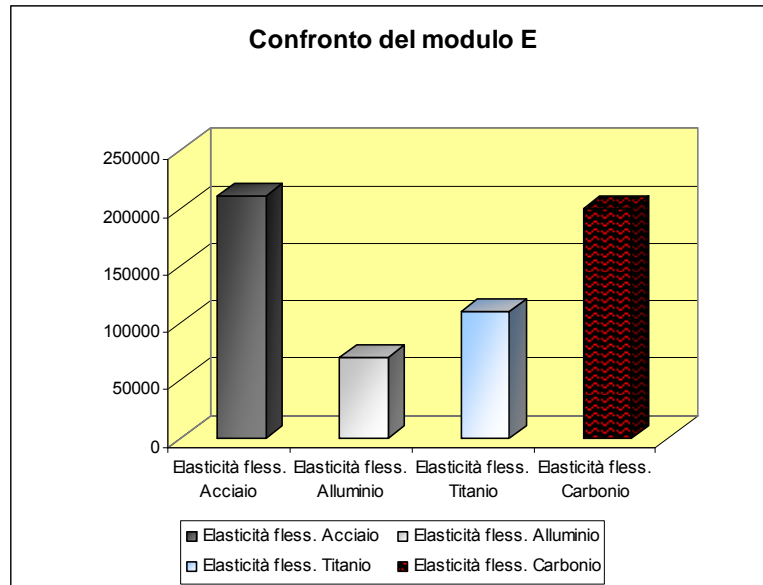
Nel grafico della pagina precedente risultano evidenti le diversità di costo tra le quattro leghe considerate, soprattutto l'alto costo della lega di titanio e l'altissimo costo della lega di carbonio.



Dal grafico risulta immediato l'alto peso del telaio in acciaio, il basso peso del telaio in carbonio ed il peso medio sia del telaio in alluminio sia di quello in titanio.



Dal grafico si nota come il carico di snervamento dell'acciaio, quello della lega di alluminio e quello della lega di titanio siano tra loro simili, mentre per quanto riguarda la fibra di carbonio essa presenta un carico di snervamento piuttosto alto, che tende a coincidere con il carico di rottura (il carbonio è un materiale resistente, ma che si deforma poco.)



Dall'ultimo grafico si osservano i diversi valori del modulo elastico. Delle leghe considerate.

Acciaio e lega di carbonio sono quelle, che a parità di carico, subiscono le deformazioni più piccole, mentre la lega di alluminio e quella di titanio sono quelle più flessibili.

La rigidità è funzione del modulo elastico, per cui è probabile che un telaio in lega di alluminio o di titanio risulti più comodo, ma ciò andrebbe analizzato in maniera più approfondita.

Esaminando i primi tre grafici -quelli più significativi in questa sede- la lega di alluminio risulta il materiale più interessante per la costruzione di un telaio di un sedile da auto, in quanto a fronte di una leggerezza significativa -circa un terzo dell'acciaio- presenta un costo finale competitivo -circa il doppio dell'acciaio-.

Naturalmente se il peso non rappresenta un problema, allora l'acciaio resta la soluzione migliore.



## 6.8 Funzionalità del progetto complesso (ergonomia)

Uno studio sul sedile da auto non può prescindere da alcune osservazioni sull'ergonomia anche se essa viene spesso trascurata a favore dell'estetica.

A tal proposito si riassumono i concetti tratti da un articolo del dott. Luigi Perali che si useranno come linee guida nella progettazione di massima di un ipotetico sedile.

Si può definire "comfort" come assenza di affaticamento dei muscoli della schiena: a tal proposito risulta evidente che se la colonna vertebrale fosse rigida e rettilinea la posizione verticale risulterebbe la meno affaticante in quanto la forza di gravità non avrebbe componente orizzontale (funzione del coseno dell'angolo di inclinazione rispetto al piano orizzontale stesso). In realtà la colonna vertebrale presenta due curve per poter compiere i movimenti, sostiene il peso del capo e delle braccia ed è sottoposta alla trazione dei visceri toraco-addominali per cui la posizione verticale del busto, chiamata ortostatica, per essere mantenuta richiede un lavoro muscolare continuo, che può però essere ridotto con l'ausilio di un supporto lombare che sostenga il tratto lombo-dorsale.

I supporti lombari attualmente in dotazione ai sedili, anche se concepiti con i migliori intenti, presentano una significativa lacuna: sostengono solamente il tratto lombare dimenticando quello dorsale.

### **IDEA 1: supporto lombare opportunamente sagomato**

In merito all'inclinazione del sedile all'indietro le posizioni reclinate dello schienale presentano alcuni svantaggi tra cui il busto che tende a scivolare verso il basso provocando l'incurvamento della colonna. Per ovviare a questo inconveniente si ricorre all'espedito di inclinare verso l'alto il piano del sedile affinché busto e bacino scivolino a contatto con lo schienale, ma ciò in realtà peggiora il comfort poiché obbliga il corpo a mantenere la posizione reclinata del busto che è la causa del disagio stesso. Questa posizione agevola affaticamento dei muscoli del collo, del dorso, delle spalle e delle braccia, apertura degli spazi intervertebrali che favorisce l'ernia del disco, maggior difficoltà nel sedersi e nell'alzarsi, minor visibilità.

### **IDEA 2: profondità del sedile ridotta**

Si può notare che il busto può assumere una posizione reclinata anche in presenza di uno schienale verticale e correttamente sagomato, ma posizionato sul bordo posteriore del sedile.

Diminuire la profondità della seduta può essere una soluzione per aiutare l'utilizzatore a sfruttare l'intera seduta, evitando lo scivolamento in avanti dei glutei.

### **IDEA 3: alette di contenimento più basse rispetto all'altezza intera dello schienale**

In genere i sedili avvolgenti sono studiati per contenere i fianchi lungo tutto lo schienale, ma le ridotte forze in gioco (si sta parlando di un sedile per automobile di classe media: se fosse per un mezzo da competizione il discorso andrebbe studiato in maniera più approfondita) rendono inutile il contenimento nella prima parte, cioè dai glutei a circa la prima costa.

Vista inoltre la difficoltà nell'accedere ad un sedile così progettato, si può pensare di creare le alette da metà schienale fino all'estremità superiore dello schienale stesso.

## **MODELLAZIONE**

Applicando queste tre idee generali si è pensato di fare una modellazione del sedile in Solid Works.

Sono stati quindi disegnati due sedili:

- il primo è nato prendendo spunto da quello della Lancia K (vedi foto sotto) con l'aggiunta di un supporto lombo-dorsale esterno regolabile in altezza
- il secondo è nato dal primo, ma in più presenta numerose migliorie ergonomiche e dimensionali

Il sedile di cui si vedono le foto qui sotto era appunto di una Lancia K che è stata demolita nel luglio 2008. Esso era in ottime condizioni, perfettamente integro e con il rivestimento in alcantara.

Le varie fasi di apertura dell'imbottitura del sedile sono documentate dalle foto seguenti.





### PRIMA IPOTESI DI SEDILE

Partendo da zero non sarebbe stato facile dimensionare in maniera proporzionata il modello, per cui sono state considerate le misure del sedile della Lancia K.

L'idea che ha guidato la modellazione è stata rappresentare un supporto lombo-dorsale innovativo, diverso da quelli usualmente proposti dalle case automobilistiche.

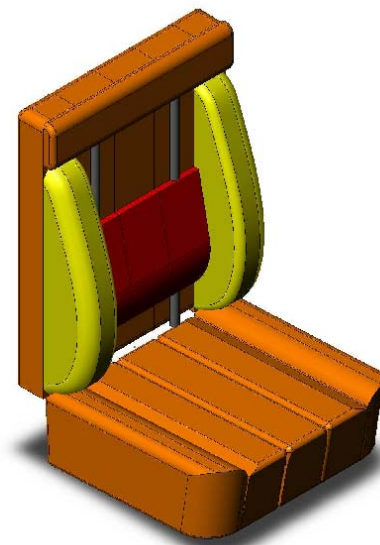
Poiché si è preferito dare risalto al contenuto innovativo

- si è rappresentata esclusivamente l'imbottitura
- l'estetica non è stata particolarmente curata nei dettagli

In colore giallo si possono notare le alette di contenimento, alte come l'intero schienale e di spessore rilevante (80mm).

In colore rosso è stato rappresentato il supporto lombo-dorsale, sagomato come suggerito dal dott. Perali.

In colore grigio scuro sono state raffigurate le due guide in grado di consentire la regolazione dell'altezza del supporto in base all'altezza del conducente.



### SECONDA IPOTESI DI SEDILE: teoria

Dopo aver terminato il primo sedile, ci si è accorti che esso probabilmente possedeva ancora ampi margini di miglioramento.

Dall'analisi della concorrenza si è rilevata che la caratteristica prima del sedile, cioè l'ergonomia a favore del benessere del conducente, viene attualmente soddisfatta solo da un supporto lombare regolabile in profondità.

## **E' possibile migliorare l'ergonomia generale del sedile?**

Da questa domanda è partita la seconda fase di modellazione, durante la quale la consulenza diretta del dott. Perali si è rivelata fondamentale.

Durante un colloquio iniziale sono state definite alcune linee guida per modificare il primo sedile.

Successivamente sono state fatte numerose piccole modifiche, fino a giungere alla versione definitiva.

Si ricorda che si è data importanza esclusivamente all'ergonomia, trascurando le qualità estetiche, la sicurezza, gli accoppiamenti, ecc.

In teoria l'idea iniziale era dedicarsi esclusivamente all'imbottitura, ma ci si è accorti che si sarebbe dovuto considerare anche un poggiatesta opportunamente sagomato e quindi anche il telaio al quale esso è ancorato.

Si è quindi iniziato da un semplice telaio semplice, costituito cioè da barre tubolari tra loro perpendicolari e successivamente si sono definite le parti riguardanti l'imbottitura, il supporto lombo-dorsale ed il poggiatesta.

Si rappresentano di seguito le varie parti di cui è composto il modello.

### **TELAIO**



Esso è semplicemente una schematizzazione di un'ipotetica struttura base.

In questa sede è stato rappresentato esclusivamente per ipotizzare un realistico accoppiamento con il poggiatesta, del quale si possono notare le guide sulla barra orizzontale superiore.

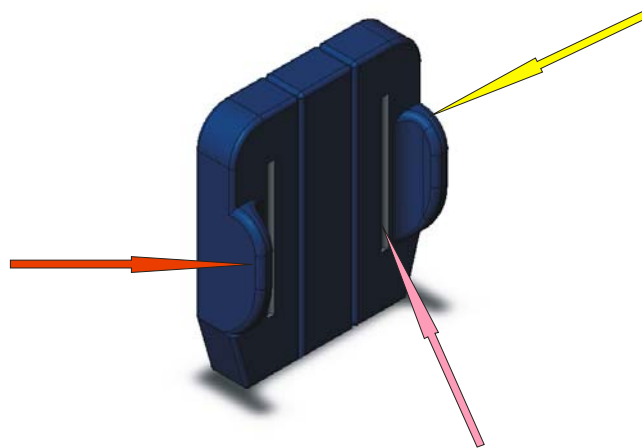
## SEDUTA



La forma della seduta sostanzialmente è standard rispetto a quelle commercializzate.

La differenza consiste nella profondità della seduta che, con soli 45 cm, è inferiore a quella dei sedili in commercio.

## SCHIENALE



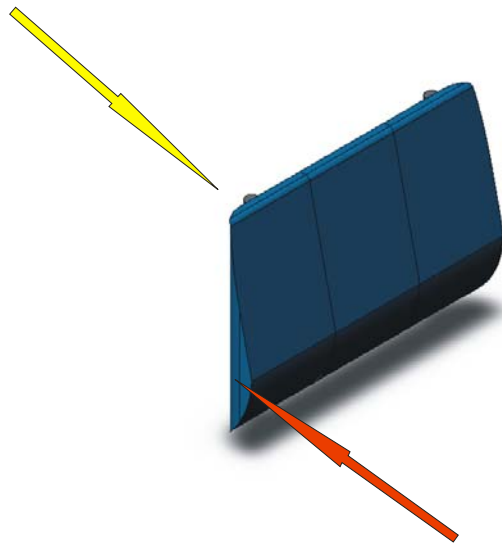
Lo schienale qui rappresentato è molto diverso da quelli dei sedili attualmente commercializzati.

La freccia rossa mette in evidenza la ridotta altezza delle alette laterali contenitive: ciò in quanto contenere il busto all'altezza delle coste dovrebbe essere sufficiente per contrastare la forza centrifuga.

La freccia gialla fa notare lo smusso superiore delle alette: ciò dovrebbe favorire la guida non interferendo con le ascelle.

La freccia rosa pone attenzione alle guide entro cui potrebbe scorrere il supporto lombo-dorsale per adattarsi all'altezza del conducente.

## SUPPORTO LOMBO-DORSALE

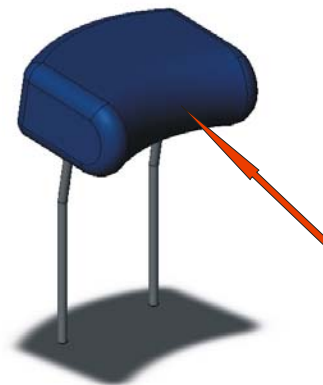


Il supporto lombare così concepito si adatta molto bene alla lordosi del rachide umano.

La freccia rossa indica lo spessore del supporto nel punto più largo, pari a 60mm: esso è la misura fondamentale, fulcro dell'intero studio dell'ergonomia del dott. Perali.

La freccia gialla indica le parti posteriori del supporto in grado di scorrere entro le guide dello schienale.

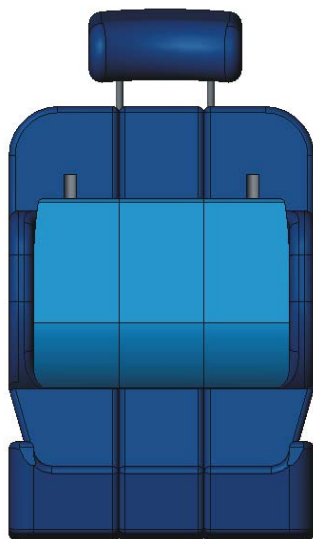
## POGGIATESTA



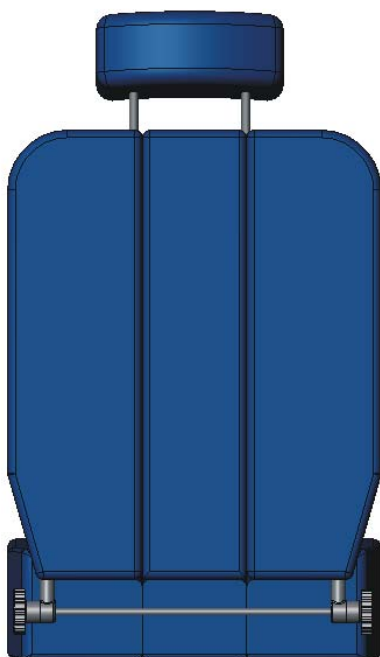
Il poggiatesta è un'altra parte fondamentale per l'ergonomia.

La freccia rossa indica la concavità del poggiatesta, contro la quale dovrebbe poggiare il collo. In teoria un poggiatesta ben progettato dovrebbe sostenere tutta la parte sotto l'inion, che è quella protuberanza che si avverte toccandosi dietro la nuca: un sostegno così strutturato impedirebbe il movimento all'indietro della testa durante le accelerazioni e sarebbe di aiuto per contrastare il colpo di frusta in caso di incidente.

## VISTA FRONTALE

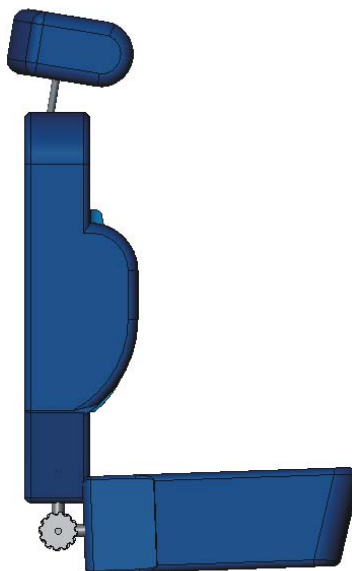


## VISTA POSTERIORE





## VISTA LATERALE



## VISTA IN 3D



## RENDERING FOTOREALISTICO



## 6.9 Conclusioni

Si ricorda che i due principali obiettivi, descritti nel capitolo 1, erano

- stressare il metodo QFD per verificarne la robustezza;
- proporre eventuali integrazioni al metodo stesso.

Il metodo proposto è stato testato su due oggetti di complessità differente: una caraffa di uso domestico ed un sedile automobilistico. Esso ha mostrato di possedere un discreto potenziale, almeno in fase di studio di fattibilità.

L'applicazione del QFD al primo prodotto ha confermato che ogni caraffa attualmente in commercio presenta alcune delle caratteristiche trovate con il metodo esaminato.

Dall'analisi della concorrenza si è rilevato come un prezzo finale contenuto sia un obiettivo di quasi tutte le aziende produttrici, il che fa presumere –ma il fenomeno andrebbe approfondito- che il cliente tipo di questo oggetto ricerchi soprattutto un prodotto economico.

L'applicazione del QFD al sedile ha mostrato come quelli montati su automobili di segmento B o C presentino delle lacune: in particolare per il segmento B l'allestimento standard spesso risulta decisamente scarno.

Si evidenzia tuttavia che il sedile presenta caratteristiche numerose e complesse all'aumentare del prezzo dell'automobile.

Si può dunque affermare che l'applicazione del metodo QFD ai due casi sopra menzionati ha dimostrato la robustezza del metodo stesso.

Le analisi della concorrenza per i due prodotti precedenti hanno sollecitato la nascita di un'integrazione del metodo, supportata dal fatto che il prezzo contenuto della maggioranza delle caraffe è una caratteristica palese.

Si è quindi proposta un'integrazione sui tempi ed una sui costi per entrambi gli oggetti.

L'analisi dei tempi del primo prodotto ha fornito un solo risultato interessante ma non sufficiente per poter affermare che essa sia un'integrazione valida; la caraffa termica, che presenta il tempo più lungo di realizzazione, è tra quelle meno commercializzate.

L'analisi dei tempi del secondo oggetto, invece, ha confermato come le caratteristiche dei sedili in commercio siano all'incirca quelle che presentano un tempo inferiore di realizzazione.

Da queste osservazioni si deduce che l'analisi dei tempi trattata nei capitoli 3 e 6 può essere valida per giungere ad un metodo più completo ed efficace.

L'analisi dei costi è stata svolta esclusivamente sui materiali, anche se mi sarebbe piaciuto sviluppare questa analisi sulle caratteristiche possedute dai prodotti studiati. Il mancato reperimento dei dati non ne ha reso possibile l'approfondimento.

L'analisi dei costi del primo oggetto ha evidenziato che le caraffe in plastica sono le più economiche, come anche suggerito dall'analisi dei prodotti in commercio.

L'analisi dei costi del secondo prodotto ha riguardato esclusivamente il telaio e non l'intero sedile; essa non consente un confronto con quelli esaminati, perché non si conosce il materiale di cui sono composti, ma afferma che l'uso del carbonio e della lega di titanio è economicamente proibitivo su sedili di automobili di uso comune.

Concludendo si può affermare che l'idea di integrare il metodo QFD si è rivelata appropriata, ma che necessita di ulteriore approfondimento.

# *Conclusioni*

Con il presente lavoro era stato fissato l'obiettivo, in fase di impostazione, di percorrere un iter formativo nell'ambito della progettazione.

In particolare, a partire dallo studio e dall'approfondimento dell'Industrial Design, disciplina di riferimento nel mondo della progettazione, si voleva in qualche modo prendere dimestichezza con i temi dell'impostazione e dell'applicazione di un progetto.

Per fare ciò, la strada tracciata dall'inizio si è rivelata essere la seguente, così articolata:

- 1) Studio ed approfondimento di metodologie note
- 2) Studio delle tecniche di progettazione
- 3) Applicazione delle suddette metodologie e tecniche di progettazione
- 4) Ricerca di nuovi metodi di progettazione
- 5) Eventuale definizione di un nuovo metodo di progettazione
- 6) Eventuale applicazione di un nuovo metodo di progettazione

Dunque, dati questi erano gli obiettivi, è possibile affermare che ogni tematica di cui sopra è stata affrontata e sufficientemente approfondita in modo da fornire una panoramica completa del mondo della progettazione. In particolare, in riferimento ai punti elencati, si può affermare che il raggiungimento degli obiettivi preposti è avvenuto mediante:

- 1) lo studio delle metodologie QFD e TRIZ (grazie alla collaborazione con l'ing. F. Ricci Curbastro, già laureando);
- 2) lo studio delle tecniche CAD, CAS, CAM, Rendering;
- 3) l'applicazione delle metodologie e delle tecniche di progettazione nei progetti citati City Bumper, Coffee Cup, Sistema di Pressione per Pneumatici da Go-kart, Caraffa e Sedile per Autovettura;
- 4) la ricerca di nuovi metodi è stata portata avanti attraverso:
  - le applicazioni citate;
  - lo studio;
  - soprattutto, l'esperienza aziendale in Ferrari SpA;
- 5,6) la definizione e l'applicazione di un nuovo metodo è avvenuta in collaborazione con l'ing. P. Galli, già laureando, in un lavoro di tesi che ha messo a confronto l'applicazione di un QFD ottimizzato in due casi di complessità differente.

Si può affermare, quindi, che la presente tesi può rappresentare una buona traccia didattica per coloro che intendono approfondire i temi della progettazione, in quanto i diversi spunti offerti possono risultare utili nell'orientamento all'interno di un settore assai vario e complesso.

# ***Bibliografia***

- [1] R.N. Anthony, D. F. Hawkins, D. M. Macri, K.A. Merchant, “*Sistemi di Controllo, analisi economiche per le decisioni aziendali*”, Mc Graw-Hill, Milano, 2001
- [2] F. Cordella e G. Galeotti, “*City Bumper: da un’idea avveniristica allo studio di fattibilità*”, Tesi di Laurea, Bologna, 2002
- [3] P. Giubilo e C. Bellati, “*Quattroruote*”, pp. 94-101, Editrice Domus, Milano, Novembre 2002
- [4] L. Fioravanti, “*Quattroruote*”, pp. 116-121, Editrice Domus, Milano, Maggio 2003
- [5] D. Lucchesi, “*L’Autotelaio*”, vol. 2°, Hoepli, Milano, 1971
- [6] J. Pawlowski, “*Vehicle Body Engineering*”, Tidbury, London, 1969
- [7] G. Pecci e M. Bargagna, “*L’Autoveicolo*”, Il Cerilo Editrice, Roma, 1980
- [8] G. Santantonio, “*Calcolo strutturale del telaio e della carrozzeria di un quadriciclo elettrico*”, Tesi di Laurea, Bologna, 2003
- [9] M. Tovey, “*Design Studies*”, Elsevier Science Ltd, Great Britain, 1997
- [10] M. Tovey and J. Owen, “*Design Studies*”, Elsevier Science Ltd, Great Britain, 2000
- [11] M. Turinetti, “*Automobile: le Forme del Design*”, Progetto Leonardo, Bologna, 1991
- [12] A. Freddi, “*Imparare a progettare*”, Pitagora Editrice, Bologna 2005
- [13] B. Munari, “*Da cosa nasce cosa*”, Editore Laterza, Bari 2002
- [14] B. Munari, “*Design e comunicazione visiva*”, Economica Laterza
- [15] P. Tedeschi, “*Disegno industriale*”, Edizioni Calderini, Bologna
- [16] P. Biondi, Giuliana Graminia, “*Il Design in Italia dell’arredamento domestico*”, Umberto Allemandi & C.
- [17] Grassi, Pansera, “*Atlante del design italiano*”, Gruppo Editoriale Fabbri

- [18] H. Altshuller, *“The art of inventing (And Suddenly the Inventor Appeared)”*, Translated by Lev Shulyak, Technical Innovation Center, Worcester, MA., 1994
- [19] R.N. Anthony, D.F. Hawkins, D.M. Macri, K.A. Merchant, *“Sistemi di controllo, analisi economiche per le decisioni aziendali”*, McGraw-Hill, Milano, 2001
- [20] J.E. Shingley, C.E. Mische, R.G. Budyans, *“Progetto e costruzione di macchine”*, McGraw-Hill, Milano, 2005
- [21] L. Frizziero, *“Studio di progettazione orientato all'estetica del City Bumper, quadriciclo innovativo”*, Tesi di Laurea, Bologna, 2003
- [22] F. Ricci Curbastro, *“Studio metodologico di progettazione di un nuovo sistema di controllo della pressione all'interno dei pneumatici kart”*, Tesi di Laurea, Bologna, 2005
- [23] P. Galli, *“Applicazione di metodi innovativi per la progettazione meccanica di prodotti industriali di complessità differente”*, Tesi di Laurea, Bologna, 2008